

PROJECTE FINAL DE CARRERA

REDISSENY I OPTIMITZACIÓ D'UN
MOTOR ELÈCTRIC DE CORRENT
CONTINU MITJANÇANT REDUCCIÓ
DE COURE EN EL COL·LECTOR

Enginyeria Tècnica Naval en Propulsió i Serveis del Vaixell

Autor: Raquel Cervera Lorente

Director: Pau Casals i Torrens

Juny, 2013

INTRODUCCIÓ	7
OBJECTIUS	9
GLOSSARI	10
1. CONDUCTORS I AÏLLANTS	11
2. CIRCUIT ELÈCTRIC	11
2.1.1. INTENSITAT DE CORRENT	11
2.2. CORRENT CONTINU I ALTERN	12
2.3. ENERGIA ELÈCTRICA. LLEI DE JOULE	12
3. INTRODUCCIÓ A LES MÀQUINES ELÈCTRIQUES	13
3.1. NATURALESIA DEL MAGNETISME	13
3.1.1. <i>El magnetisme i la teoria atòmica</i>	13
3.1.2. <i>Classificació de la matèria vers el seu comportament en camps magnètics</i>	14
3.1.3. <i>CORBA D'IMANTACIÓ.</i>	16
• CICLE D'HISTÈRESI	17
3.2. CAMP MAGNÈTIC	18
3.2.1. <i>Camp magnètic generat per imants</i>	18
3.2.2. <i>Camp magnètic generat per càrregues en moviment</i>	19
3.2.3. <i>Camp magnètic generat per una espira</i>	20
3.3. MAGNETITZACIÓ I INTENSITAT DE CAMP MAGNÈTIC	21
3.4. CORBES DE MAGNETITZACIÓ	22
3.5. INTERACCIÓ ENTRE CORRENT I CAMP MAGNÈTIC	23
3.5.1. <i>Força sobre una càrrega en moviment</i>	23
3.5.2. <i>FORÇA MAGNÈTICA SOBRE UN CORRENT ELÈCTRIC</i>	25
3.5.3. <i>FORÇA MAGNÈTICA ENTRE DOS CONDUCTORS PARAL·LELS</i>	26
3.5.4. <i>Força i parell sobre una espira</i>	27
3.6. FLUX MAGNÈTIC	28
3.7. CIRCUIT MAGNÈTIC	28
3.8. PRINCIPIS FONAMENTALS DE L'ELECTROMAGNETISME	29
3.8.1. <i>Inducció electromagnètica</i>	29
3.8.2. <i>Força electromotriu induïda. Llei de Faraday</i>	29
3.8.3. <i>Llei de Lenz</i>	32
4. CLASSIFICACIÓ GENERAL DE LES MÀQUINES ELÈCTRIQUES	33
4.1. GENERADORS ELÈCTRICS	33
• Generadors elèctrics de corrent alterna	33
• Generadors elèctrics de corrent continu	33
4.2. TRANSFORMADORS ELÈCTRICS	34
4.3. MOTORS ELÈCTRICS	34
5. MÀQUINA DE CORRENT CONTINU	35
5.1. ELEMENTS CONSTRUCTIUS DE LES MÀQUINES DE CORRENT CONTINU	35
5.2. CONSTRUCCIÓ DEL ROTOR O INDUÏT	35
5.2.1. <i>Col·lector i escombretes</i>	36
5.2.2. <i>Bobinat del rotor o induït</i>	37
5.2.2.1. Connexió dels segments de commutació	37
• Debanats imbricats	38
• Debanat ondulat	38

5.3.	FUNCIONAMENT: COMMUTACIÓ	39
•	<i>Procés de transformació del corrent altern en continu</i>	40
5.4.	CORBES CARACTERÍSTIQUES I DE FUNCIONAMENT	42
5.5.	RENDIMENT D'UN MOTOR DE CORRENT CONTINU	42
5.6.	PÈRDUES EN ELS MOTORS DE CORRENT CONTINU	43
•	Pèrdues elèctriques o en el coure	43
•	Pèrdues en les escombretes	44
•	Pèrdues en el nudi	44
•	Pèrdues mecàniques	44
•	Pèrdues disperses	45
6.	ÚS DEL MOTOR ELÈCTRIC DINS L'AUTOMOCIÓ	45
6.1.	TIPUS DE MOTORS DE CC EN L'AUTOMOCIÓ	45
6.1.1.	<i>Motors per Sistemes de frenat</i>	45
6.1.1.1.	ESP/ABS MOTOR	45
6.1.1.2.	Motors per la bomba elèctrica en el buit (motors EVP)	45
6.1.2.	<i>Motors per elements de tancament</i>	46
6.1.2.1.	Motors pel sostre solar	46
6.1.2.2.	Motors pel tancament de portes	46
6.1.2.3.	Motor alçavidres	46
6.1.3.	<i>Motors per l'ajustament de seients</i>	46
6.1.4.	<i>Motor per al flux d'aire</i>	46
6.2.	SISTEMA DE REFRIGERACIÓ PER AIGUA	47
6.3.	ELEMENTS QUE COMPOSEN EL CIRCUIT DE REFRIGERACIÓ	47
•	<i>Radiador</i>	48
•	<i>Bomba d'aigua</i>	48
•	<i>Termòstat</i>	48
•	<i>Ventilador</i>	48
7.	PLANIFICACIÓ AVANÇADA DE LA QUALITAT DEL PRODUCTE APQP	48
7.1.	FASES DE LA VIDA D'UN PROJECTE	49
7.1.1.	<i>Fase 1: Selecció dels proveïdors</i>	49
	Plànols i especificacions de productes	49
	Sol·licitud de cotització	49
	Reunió abans d'atorgar del producte a un proveïdor	49
	Full de selecció de proveïdor (intern)	49
7.1.2.	<i>Fase 2: Validació del disseny</i>	49
	Llançament de l'Arxiu APQP	49
	Revisió tècnica	49
	Objectius i riscos	50
	Estudi de viabilitat i el compromís	50
	Anàlisi de capacitat	50
	Construcció i validació de prototips	50
	Contracte i ressenya acord	50
	Congelació de disseny	50
	L'acceptació de l'arxiu APQP	50
7.1.3.	<i>Fase 3: Procés de disseny i desenvolupament dels proveïdors</i>	50
	Calibre/ Revisar / eines / equips	51
	Definir embalatge	51
	Maquinària llesta per la producció en sèrie	51
7.1.4.	<i>Fase 4: Validació del producte i procés del proveïdor</i>	51
	Primera fabricació de peces fora de procés	51

Prova de validació completa	51
Aprovar sub-proveïdors PPAP	51
Realitzar auditoria de producció	51
Enviar PPAP	52
Aprovació PPAP	52
7.1.5. Fase 5: Gestió PQA (Assegurament de Qualitat del Producte)	52
Pla d'Inspecció entrant	52
Informe setmanal	52
Tancar arxiu APQP	53
Validar PQA	53
8. DESCRIPCIÓ DE LA MODIFICACIÓ EN EL CONJUNT MOTOR	53
9. PARÀMETRES QUE AFECTEN EN LA REDUCCIÓ DE COURE EN EL COL·LECTOR: AMFE	54
9.1. AVANTATGES I BENEFICIS QUE COMPORTA L'ÚS DEL AMFE	54
9.2. TIPUS D'AMFE	54
• AMFE DE DISSENY EN LA REDUCCIÓ DE COURE EN EL COL·LECTOR	56
• AMFE DE PRODUCTE	57
• AMFE DE PROCÉS	58
10. ASSAJOS REALITZATS: DVP&R	58
10.1. TIPUS DE PROVES A REALITZAR EN UN DVP&R	59
• Proves de desenvolupament	59
• Proves amb prototips	59
• Test de resistència	59
• Les proves d'acceptació	59
10.2. MÈTODES DE VERIFICACIÓ	59
• Demostració	59
• Inspecció	60
• Anàlisi	60
• Similitud	60
• Proves	60
10.3. DVP&R: REDUCCIÓ DE COURE EN EL COL·LECTOR	61
10.4. ASSAJOS REALITZATS	62
10.4.1. Salt entre delgues	62
10.4.2. Resistència mecànica: Extracció de delga	63
10.4.3. Punt de funcionament	63
10.4.4. Sobretensió	63
10.4.5. Assaig de vida	65
10.4.6. Test de producció	66
10.4.6.1. Pla de control	66
10.4.6.2. Resposta Ràpida de Control de Qualitat (QRQC)	67
Parts del panell	67
10.4.6.3. Pla de control línia d'induits	68
10.4.6.4. Pautes de control	73
❖ Control del paquet de platines invertit	73
❖ Control eix amb ranura o eix llis/ eix invertit	74
❖ Control del tipus d'estrella aïllant	75
❖ Control de presència i absència d'estrelles aïllants	76
❖ Control automàtic de l'altura del col·lector	77
❖ Control del decalat del col·lector	77
❖ Soldadura automàtica del fil del bobinat a les delgues del col·lector	78
❖ Control de les característiques elèctriques de l'induït (tèster 1 i tèster 2)	79

❖	Control tornejat col·lector	80
❖	Control d'equilibrat automàtic	81
10.4.6.5.	Resultats obtinguts després de la prova de producció	81
	Trial Run 1:	81
	Trial Run 2:	82
	Trial run 3:	82
10.4.6.6.	Estudi de capacitat dels paràmetres que afecten a la reducció de coure en el col·lector	82
10.4.6.6.1.	Control estadístic del procés (SPC)	82
10.4.6.6.2.	Estudi de capacitat	83
10.4.6.6.3.	Salt entre delgues	86
	10.4.6.6.3.1. Estudi de la capacitat del salt entre delgues	86
	10.4.6.6.3.2. Gràfics de control de salt entre delgues	88
10.4.6.6.4.	Rugositat del col·lector	88
	10.4.6.6.4.1. Estudi de capacitat de la rugositat del col·lector	88
	10.4.6.6.4.2. Gràfics de control de la rugositat del col·lector	89
10.4.6.6.5.	Diàmetre extern del col·lector	90
	10.4.6.6.5.1. Estudi de capacitat del diàmetre extern del col·lector	90
	10.4.6.6.5.2. Gràfics de control del diàmetre col·lector	91
10.4.6.6.6.	Estudi de capacitat de la resistència a la soldadura	92
	10.4.6.6.6.1. Estudi de capacitat de la resistència de soldadura dels ganxos del col·lector	92
	10.4.6.6.6.2. Gràfics de control de la resistència de soldadura dels ganxos del col·lector	93
10.4.7.	Altres assajos no inclosos en el DVP&R	94
11.	RESULTATS OBTINGUTS:PPAP	94
11.1.	DOCUMENTS	94
	• Registres de disseny	94
	• Autoritzat canvi d'enginyeria	95
	• Aprovació d'Enginyeria	95
	• AMFE de disseny	95
	• Diagrama de flux de procés	95
	• AMFE de procés	95
	• Pla de Control	95
	• Mesura dels estudis d'anàlisi del sistema	95
	• Resultats dimensionals	95
	• Registres de Material / Proves de rendiment	95
	• Estudis Inicials del Procés	96
	• Documentació del Laboratori Qualificat	96
	• Informe d'aprovació d'aparença	96
	• Exemples de peces de producció	96
	• Mostres inicials	96
	• Ajudes de Verificació: POKA-YOKE	96
	• Requisits específics del client	96
	• Remissió part Warrant	96
12.	ESTUDI ECONÒMIC DE LA REDUCCIÓ DE COURE EN EL COL·LECTOR	96
13.	ASPECTES MEDIAMBIENTALS	97
13.1.	FI DE VIDA DEL VEHICLE (ELV) / SISTEMA INTERNACIONAL DE DADES DE MATERIALS (IMDS)	98
14.	CONCLUSIONS	99
	BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES	100

ANNEX 1: DRAWING DEL COLECTOR	102
ANNEX 2: SEQÜÈNCIA DE FABRICACIÓ DEL COL·LECTOR	103
ANNEX 3: COEFICIENTS DE L'AMFE	105
ANNEX 4: SALT ENTRE DELGUES	107
ANNEX 5: RESISTÈNCIA MECÀNICA: EXTRACCIÓ DE LA DELGA	108
ANNEX 6: PUNTS DE FUNCIONAMENT	109
ANNEX 7: ASSAIG DE SOBRETENSIÓ	113
ANNEX 8: ASSAIG DE VIDA	116
ANNEX 9: ESTUDI CAPACITAT SALT ENTRE DELGUES	117
ANNEX 10: ESTUDI CAPACITAT RUGOSITAT COL·LECTOR	120
ANNEX 11: ESTUDI CAPACITAT DIÀMETRE EXTERIOR	123
ANNEX 12: ESTUDI DE CAPACITAT DE LA RESISTÈNCIA DE LA SOLDADURA	126
ANNEX 13: ALTRES ASSAJOS NO INCLOSOS EN EL DVP&R	129

Introducció

El sector de l'automoció s'enfronta a reptes transcendents pel seu futur desenvolupament: la forta competència que acompanya aquesta indústria en els àmbits tradicionals, l'impuls constructor de països emergents que dominen els mercats més febles, els grans esforços tecnològics que s'efectuen per trobar alternatives viables a les energies procedents dels combustibles fòssils.

A aquestes circumstàncies se li afegeixen les conseqüències de la crisi de les matèries primeres i d'alguns productes agrícoles. La situació d'incertesa mundial que s'ha generat provoca que el sistema financer es faci opac a les necessitats dels sectors i de les empreses, repercutint en una forta degradació del consum, sobretot en àmbits com l'automoció, molt sensible a l'evolució de les xifres macroeconòmiques.

Per fer front a aquesta crisi econòmica, baixar els costos de producció és l'objectiu de les empreses que han vist minvar la seva producció, primer per sobreviure a la crisi, i també per augmentar la productivitat i les vendes. Cada empresa utilitza els seus mètodes concrets per aconseguir tal fi, com ara reduir costos en la cadena de subministrament, buscar serveis compartits, reduir costos en la logística, etc.

Una manera de reduir costos en els processos de fabricació és la reducció de matèria primera. Per això, aquest projecte consisteix en redissenyar un motor elèctric reduint matèria primera per tal de fer-lo més competitiu dins el mercat de l'automoció.

Un dels materials emprats en els motors elèctrics, i que des de l'any 2004 ha sofert un increment considerable del seu valor a causa del augment de la demanda en països emergents, és el coure. El coure és el tercer material més emprat en món, ja que s'utilitza en una varietat molt àmplia d'aplicacions: la més important, amb un 56%, és la generació i transport d'energia; el 26% s'aplica en la construcció; el 10% en enginyeria, i la resta en aplicacions varies.

L'objectiu d'aquest projecte és reduir l'espessor de coure del col·lector d'un motor elèctric de corrent continu amb escombretes, emprat per accionar l'hèlix del conjunt motor-ventilador-canalitzador per la refrigeració del radiador d'automòbils.

Es tracta doncs, d'optimitzar el sistema de refrigeració de motors tèrmics en el sector de l'automoció, abaratint el cost del motor elèctric sense perjudicar ni empitjorar les seves propietats i funcions de refrigeració des del punt de vista de disseny i qualitat.

En la vida d'un producte nou o la modificació d'un ja existent, des de que és una idea o una proposta fins que es fabrica a la línia de producció, intervenen diferents departaments que, treballant en equip, aconsegueixen produir un producte alhora econòmic i que compleixi els requisits del client final.

Primerament, realitzar un bon disseny comporta l'acció d'un equip d'enginyers que, recolzats per l'equip del laboratori, realitza les proves i assajos necessaris per saber el comportament dels nous productes, construeix els prototips per assajar els nous productes, comprova les seves propietats i el seu comportament en situacions adverses. L'oficina tècnica donarà suport amb el disseny de plànols i aportant els seus coneixements tècnics.

Juntament amb l'equip de projectes, ha de treballar l'equip de mètodes, ja que a l'hora de dissenyar un producte és molt important pensar en com es fabricarà, la seva seqüència de muntatge i quins són els valors crítics d'aquest. Amb aquest equip també ha de treballar l'equip de qualitat que s'encarrega d'assegurar que el producte final compleix els requisits del client.

Per altre banda, el departament de compres s'encarrega de negociar els preus dels materials emprats per la fabricació dels motors, i el departament de vendes s'encarrega de vendre el producte fabricat i fer de connexió amb el client.

Aquest projecte es basa en el disseny i la qualitat del producte a modificar, i com aquest és afectat tant per les característiques de disseny i les de qualitat de poder proporcionar les funcions que requereix el client.

Objectius

El projecte tracta de reduir l'espessor de coure del col·lector en un motor elèctric de corrent continu amb escombretes.

Com a objectius personals conèixer el funcionament de la gestió de la vida d'un projecte, i aprendre sobre els diferents procediments de control de la qualitat d'un producte, i consolidar els coneixements sobre les màquines elèctriques.

Glossari

- **APQP:** Planificació Avançada de la Qualitat del Producte
- **RFQ:** Sol·licitud de Cotització
- **PPAP:** Procés d'Aprovació de Parts de Producció
- **Poka-yoke:** a prova d'errors, és un dispositiu (generalment) destinat a evitar errors
- **SQA:** Control de Qualitat
- **PQA:** Assegurament de Qualitat del Producte
- **AMFE:** Anàlisi Modal de Fallada i Efectes
- **Coeficient S:** Severitat
- **Coeficient O:** Ocurrencia
- **Coeficient D:** no Detecció
- **RPN:** Número de Prioritat de Risc
- **DVP&R:** Pla de Verificació del Disseny
- **Cp i Cpk:** Capacitat del Procés
- **QRQC:** Resposta Ràpida de Control de Qualitat
- **Trial Run:** Període de Prova
- **SPC:** Control estadístic del Procés
- **TLC:** Teorema del Límit Central
- **TS:** Tolerància Superior
- **TI:** Tolerància Inferior
- **LCS:** Límit de Control Superior
- **LCI:** Límit de Control Inferior
- **LC:** Límit Central
- **MSA:** Mesura dels Estudis d'Anàlisi del Sistema
- **AAI:** Aspecte Inspecció Aprovació
- **ELV:** Fi de Vida del Vehicle
- **IMDS:** Sistema Internacional de Dades de Materials

1. Conductors i aïllants

La matèria és elèctricament neutre, i ho són cadascun dels seus àtoms. No obstant això, la matèria és essencialment elèctrica també, i cadascuna de les seves partícules constituents tenen càrrega. Ambdues característiques es posen de manifest al sotmetre un objecte material sota l'acció d'un camp elèctric.

Des del punt de vista del seu comportament sota l'acció d'un camp elèctric, els materials es poden classificar en dos grans grups:

- Conductors: substàncies que permeten fàcilment el moviment de les càrregues a través d'elles.
- Dielèctrics: substàncies que impedeixen el moviment de les càrregues a través d'elles.

2. Circuit elèctric

2.1.1. Intensitat de corrent

Es defineix corrent elèctric al moviment ordenat de les partícules de càrrega. En aquest capítol es farà referència a la corrent per conducció. Com el seu nom indica, es manifesta en els conductors i es caracteritza pel moviment de portadors de càrregues a través del medi.

Convencionalment, s'ha establert el sentit del corrent com la direcció en la qual es mouen les càrregues positives (i en sentit contrari les negatives).

D'acord a la definició de corrent, la forma de mesurar aquest ha d'estar relacionada amb la rapidesa amb què es mouen les càrregues. Així doncs, es pot definir la intensitat de corrent com la quantitat de càrrega que passa a través d'una superfície S per unitat de temps:

$$I \equiv \left. \frac{dQ}{dt} \right|_S \quad (2.1.1.1)$$

És evident, d'acord a la definició esmentada anteriorment que, mentre més ràpides es mouen les càrregues, major serà el valor del corrent. Existeix doncs, una possibilitat de relacionar la velocitat de les càrregues amb la intensitat de corrent.

Essent la velocitat constant I , es pot descriure com:

$$I \equiv \left. \frac{dQ}{dt} \right|_S \quad (2.1.1.2)$$

$$\Delta Q = N \cdot q \quad (2.1.1.3)$$

En aquesta expressió N representa el número de càrregues que travessen la superfície S en l'interval de temps Δt .

En el SI, la unitat de mesura de la intensitat de corrent és l'Ampere (en honor al físic i matemàtic francès André Marie Ampere) i correspon al pas d'un coulomb per segon a través d'una superfície S

$$[Amp] = \frac{[1 \text{ Coulomb}]}{[1 \text{ segon}]} \quad [j] = \frac{[Amp]}{[m]^2}$$

2.2. Corrent Continu i Altern

El corrent continu (CC o DC) es defineix com aquell que, una vegada connectat a un circuit, aquest circula amb un valor constant i en un mateix sentit si el camp elèctric manté a través del temps la mateixa direcció.

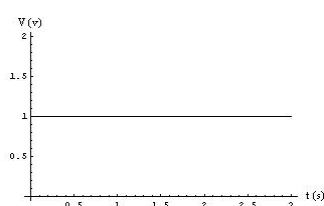


Figura 1. Gràfica V-t (tensió temps)

En el corrent altern (CA o AC), els electrons no es desplacen d'un pol a l'altre, sinó que a partir de la seva posició fixa en el conductor, oscil·len d'un costat l'altre del seu centre, dins d'un mateix entorn o amplitud a una freqüència determinada.

La gràfica V-t del corrent altern es representa com una corba o una ona, que pot ser de diferents formes (quadrada, sinusoidal, triangular,...), però sempre caracteritzada per la seva amplitud (tensió de cresta positiva a cresta negativa d'ona), freqüència (nombre d'oscil·lacions de l'ona en un segon), i període (temps que tarda en fer una oscil·lació).

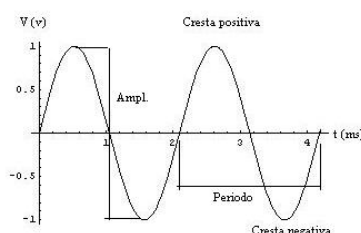


Figura 2. Corrent de 2Vpp (pic a pic) d'amplitud, freqüència 476'2 Hz (oscil·seg.)

2.3. Energia elèctrica. Llei de Joule

Per traslladar una càrrega entre dos punts s'ha de realitzar un treball w, que és realitzat pel generador elèctric. Aquest treball no s'acumula, sinó que es transforma en calor, fenomen denominat com efecte Joule. Aquest augment de temperatura en el conductor es deu als xocs dels electrons amb els àtoms o ions del conductor.

L'escalfament del conductor és major a mesura que augmenta el corrent que circula i l'oposició que troben els electrons al ser desplaçats (resistència).

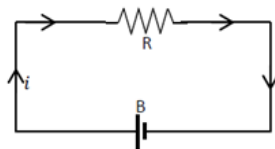


Figura 3. Circuit alimentat amb una font de força electromotriu

En la figura 3, s'il·lustra un circuit simple format per dos elements: una resistència R i una bateria B . Sota una interpretació termodinàmica senzilla, es pot dir que la bateria subministra energia al circuit al realitzar un treball per passar la càrrega a través de R , i donat que la càrrega no s'accelera, aquesta energia és captada per la resistència augmentant la seva energia interna i amb això la seva temperatura. L'escalfament dels circuits esdevé en ocasions un efecte no desitjable, mentre en d'altres aquest fenomen s'aprofita com a procediment per escalfar dispositius.

Per calcular el consum d'energia degut a aquest fenomen, suposem que en un període de temps passa, a través de la resistència R , una quantitat de càrrega dQ , mentre és V la diferència de potencial en els seus extrems, aleshores el treball efectuat per l'energia subministrada al sistema, sigui una bateria o un generador, en aquest procés és:

$$dW = dQ \cdot V \quad (2.3.1)$$

Llavors, la potència P desenvolupada (treball per unitat de temps) és:

$$P = \frac{dQ}{dt} \cdot V = I \cdot V \quad (2.3.2)$$

$$P = I^2 \cdot R \quad (2.3.3)$$

3. Introducció a les màquines elèctriques

3.1. Naturalesa del magnetisme

3.1.1. El magnetisme i la teoria atòmica

Els descobriments de les relacions entre els corrents elèctrics i el magnetisme, complementat amb l'aprofundiment del coneixement de l'estructura interna de l'àtom, van donar els fonaments per elaborar teories que poguessin explicar el magnetisme que presentaven certs materials.

Avui dia, podem afirmar que el magnetisme és una propietat intrínseca de la matèria deguda bàsicament a dues contribucions:

Donat que els electrons que orbiten en el nucli d'un àtom poden ser considerats com un corrent que circula per una espira microscòpica, és d'esperar que dit corrent generi un camp magnètic, de la mateixa manera que el corrent que circula per una espira real. També el spin dels electrons (el gir sobre ells mateixos) generen un camp magnètic.

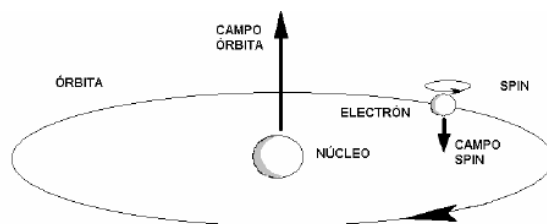


Figura 4. Camp orbital d'un àtom

D'acord a aquesta teoria, cada electró generaria dos camps magnètics, un degut al seu moviment de translació al voltant del nucli, i l'altre degut al gir sobre si mateix.

El moviment orbital i de spin dels electrons els fa actuar com petits corrents circulars que generen camps magnètics elementals, a mode d'imants o dipols magnètics. La suma vectorial de tots els dipols magnètics corresponents als dels electrons d'una partícula (àtom, molècula o ió) constitueix el dipol magnètic resultant per l'esmentada partícula. Les partícules amb electrons aparellats (immensa majoria), anul·len els seus dipols magnètics donant un dipol magnètic resultant nul. Les que presenten electrons desaparellats (com succeeix amb els àtom del ferro, níquel i cobalt) manifesten el seu caràcter d'imant elemental.

Les propietats magnètiques que presenten certs materials, no poden ser explicades únicament a partir dels camp individuals que presenten els seus àtoms. Dites propietats estan relacionades a la capacitat d'aquests elements d'orientar els seus orbitals dins del material.

En absència de camp magnètic exterior, la immensa majoria de materials no presenten propietats magnètiques. Fins i tot aquells materials constituïts per partícules amb dipols magnètics resultant no nul, no manifesten magnetisme a aquest dipols elementals per la seva orientació aleatòria, a l'atzar.

Ara bé, en presència d'un camp magnètic extern tot material experimenta el fenomen de distorsió de moviment electrònic: consisteix en l'aparició d'un dèbil dipol magnètic oposat al camp exterior en cadascuna de les seves partícules.

3.1.2. Classificació de la matèria vers el seu comportament en camps magnètics

L'existència d'aquest efectes permet classificar els materials pel seu comportament respecte a camps magnètics externs en tres tipus diferents.

- DIAMAGNÈTICS
- PARAMAGNÈTIC
- FERROMAGNÈTICS

Es caracteritzen pel seu valor de permeabilitat magnètica, que és la relació entre el camp d'inducció magnètica i el camp de magnetització dins del material:

$$B = \mu \cdot H \quad (3.1.2.1)$$

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 = \mu_0(1 + \chi_m) \quad (3.1.2.2)$$

On μ_r és la permeabilitat relativa i χ_m la susceptibilitat del material.

MATERIALS DIAMAGNÈTICS

- Els materials diamagnètics es magnetitzen dèbilment en el sentit oposat al del camp magnètic aplicat. Resulta doncs, que apareix una força de repulsió sobre el cos respecte el camp aplicat.
- La susceptibilitat magnètica és negativa i petita; i la permeabilitat relativa esdevé llavors lleugerament menor que la unitat.
- La intensitat de la resposta és molt petita.

MATERIALS PARAMAGNÈTICS

- Els materials paramagnètics es magnetitzen dèbilment en el mateix sentit que el camp magnètic aplicat. Resulta, doncs, que apareix una força d'atracció sobre el cos respecte al camp aplicat.
- La susceptibilitat magnètica és positiva i petita; i la permeabilitat relativa esdevé llavors lleugerament major que la unitat.
- La intensitat de la resposta és molt petita, i els efectes són pràcticament impossibles de detectar, excepte a temperatures extremadament baixes o camps aplicats molt intensos.

MATERIALS FERROMAGNÈTICS

- Els materials ferromagnètics es magnetitzen fortament en el mateix sentit que el camp magnètic aplicat.
- La susceptibilitat magnètica és positiva i gran; i la permeabilitat relativa esdevé llavors molt major que la unitat.

Les partícules dels materials ferromagnètics interaccionen alineant-se unes amb les altres, i donen lloc a agrupacions on els camps magnètics es potencien entre si. Aquests cúmuls de partícules alineades es denominen dominis magnètics.

Dins dels materials existeixen zones denominades dominis, dins les quals les molècules estan ordenades de manera que els seus camps nets estan alineats. Aquests dominis tenen orientacions aleatòries resultant en un camp nul.

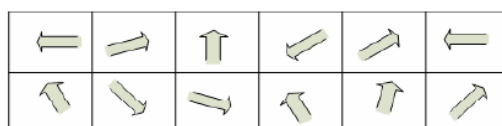


Figura 5. Material en estat original

Quan s'aplica un camp extern, els dominis que posseeixen una orientació similar a la del camp aplicat comencen a ordenar-se segons el camp aplicat, començant per aquells que presenten una orientació més favorable.

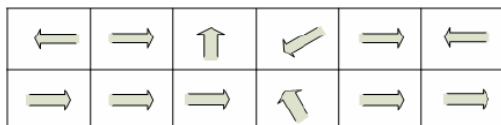


Figura 6. Camp mitjà aplicat

A mesura que va augmentant el camp aplicat hi ha cada vegada menys dominis per reorientar i, els dominis que encara no han estat reorientats, són els que presentaven l'estat inicial més desfavorable. Finalment, arriba un moment que el camp aplicat ja no incrementa la magnetització: això s'anomena saturació del material.

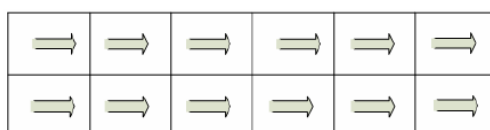


Figura 7. Material saturat

L'augment de temperatura tendeix a desalinejar els dominis. A temperatura normal, l'energia tèrmica no és en general suficient per desmagnetitzar un material magnetitzat fins a la saturació. No obstant, per damunt d'una certa temperatura, anomenada temperatura de Curie, el material es torna paramagnètic, degut a que els efectes tèrmics de desordre són majors que els efectes d'alineament de la interacció magnètica entre dominis. Una manera de desmagnetitzar un material ferromagnètic és escalfant-lo per damunt d'aquesta temperatura.

3.1.3. CORBA D'IMANTACIÓ.

Quan una mostra de material ferromagnètic es col·loca dins d'un camp magnètic, els dominis tendeixen a alinear-se, de forma que els seus camps magnètics es sumen al camp extern, resultant un camp total més fort. Aquest fenomen pot ser observat per la corba d'imantació que relaciona l'inducció B resultant en funció de la intensitat de camp magnètic H .

Inicialment la mostra es troba en un estat magnèticament neutre, degut a que els dominis tenen alineacions orientades a l'atzar, resultant un moment magnètic total nul. A l'aplicar una intensitat de camp magnètic definida per H_M , es produeix un desplaçament de les parets que separen els dominis, eixamplant-se la càrrega dels que estan orientats menys favorablement. Aquest creixement és irreversible i si s'elimina el camp H_A exterior, la densitat de flux també desapareix. Si es continua elevant el valor de H , els dominis continuen augmentant de volum. Aquest moviment és irreversible, i si es deixa d'aplicar l'excitació magnètica, roman l'alineació dels dominis que han rotat.

• CICLE D'HISTÈRESI

Histèresi significa permanència o retard. En aquest cas, en materials ferromagnètics, després de fer desaparèixer l'acció del camp magnètic, la substància encara presenta cert nivell d'inducció magnètica, que rep el nom de magnetisme romanent.

La corba de la figura 8 representa la imantació d'una substància ferromagnètica que inicialment estava completament desimantada i en la que se li ha anat augmentant l'excitació magnètica de forma continuada a partir d'un estat nul. Aquesta corba s'anomena corba de primera imantació.

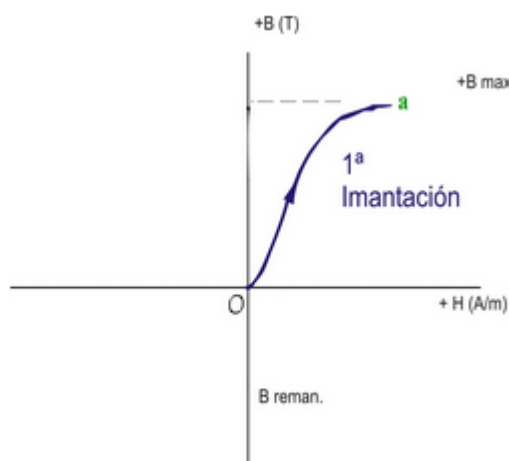


Figura 8. Corba de primera imantació d'un material ferromagnètic

Al disminuir el corrent, disminueix la intensitat de corrent B, però no en la mateixa proporció que abans. En el punt (b) de la figura 9 s'ha anul·lat la intensitat de camp però la inducció B roman, ja que existeix un magnetisme romanent.

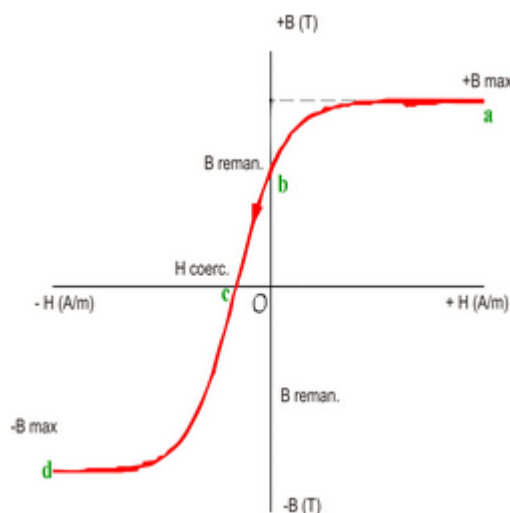


Figura 9. Corba de magnetització d'un material ferromagnètic, que en desaparèixer l'acció del camp magnètic encara en el material existeix un cert nivell d'inducció magnètica

Per anul·lar aquest magnetisme romanent s'ha d'invertir el sentit del camp magnètic. Això s'aconsegueix invertint el sentit del corrent que circula pel material. En el punt (e) de la figura anterior, tenim que la inducció és zero. Però per aconseguir-ho s'ha d'aplicar una intensitat de camp $-H_c$ anomenada intensitat coercitiva. Si a continuació es va augmentant el corrent s'arriba a un punt de saturació (d).

Si a partir d'aquest punt s'inverteix el corrent de nou, s'aconsegueix completar el cicle d'histeresi passant per un nou punt (e) de magnetisme romanent i de valor $-B_r$. Com s'observa en la figura, la corba no passa per el punt 0 a causa de l'histeresi.

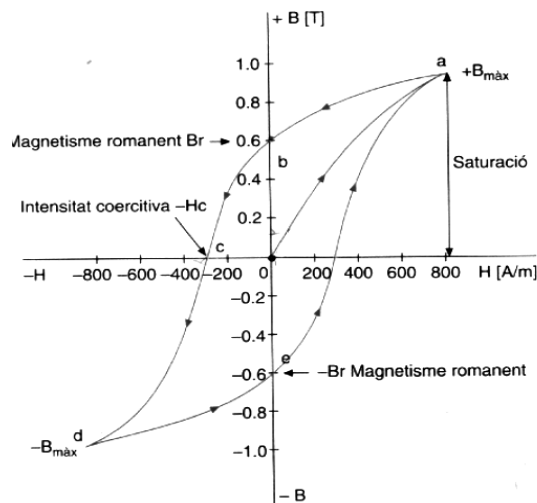


Figura 10. Corba d'histeresi completa d'un material ferromagnètic

Per desmagnetitzar completament un material ferromagnètic s'ha de repetir un cert nombre de vegades el cicle fent que la intensitat en inversió sigui cada cop més petita.

Les característiques de la corba varien segons el material i les seves variables electromagnètiques.

3.2. Camp magnètic

3.2.1. Camp magnètic generat per imants

Els primers fenòmens magnètics que en tenim referència es situen a l'antiga Grècia, fa més de 2.500 anys, i estan relacionats amb la propietat del mineral magnetita (Fe_3O_4), l'anomenada "pedra imant", d'atraure petits trossos de ferro i de transferir al ferro les seves propietats atractives.

Al igual que una càrrega crea un camp elèctric al seu voltant i una massa crea un camp gravitatori, un imant crea un camp magnètic al seu voltant, que és detectat per l'aparició de forces magnètiques, i que es pot representar mitjançant línies de camp de força magnètica.

Aquest material es caracteritza per tenir un pol nord i un pol sud.

- El pol nord d'un imant s'orienta cap al nord geogràfic de la terra i el pol sud cap al sud geogràfic. Si apropem dos imants diferents, observarem que els pols d'igual signe es repel·len i els de diferent signe s'atrauen.

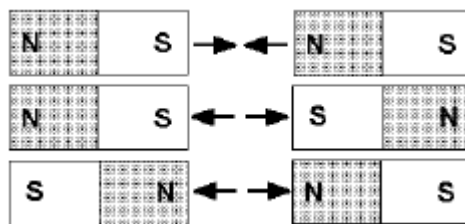


Figura 11. a) b) dos imants de barra s'atrauen quan dos pols oposats (N i S) estan pròxims l'un a l'altre. c) i d) els imants es repel·len quan dos pols iguals (N i N o S i S) estan prop l'un del altre

- Tot imant presenta dos pols magnètics. Així, si dividim un imant per la meitat, no obtindrem un pol nord i un de sud aïllats, sinó que obtindrem dos imants més petits, cadascun d'ells amb el seu parell de pols nord i sud.

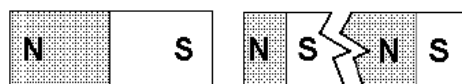


Figura 12. Cada cop que es trenca un imant, apareixen pols nord i sud en cadascun dels trossos

El camp magnètic es mesura en cada punt mitjançant el vector intensitat de camp magnètic (\vec{B}), que és tangent a les línies de camp magnètic.

Les línies de camp magnètic tenen les següents propietats:

- En l'exterior del imant, cada línia s'orienta del pol nord al pol sud.
- A diferència de les línies de camp elèctric, les línies de camp magnètic són tancades i no s'interrompen en la superfície del imant.
- El vector de camp magnètic en cada punt de l'espai és tangent a la línia de camp que passa per aquell punt.
- La quantitat de línies per unitat d'àrea en la proximitat d'un punt, és proporcional a la intensitat de camp en el punt esmentat.
- Les línies mai s'intersequen ni es creuen en cap punt de l'espai.

3.2.2. Camp magnètic generat per càrregues en moviment

En la mesura que un corrent elèctric el podem concebre com un flux de càrregues, podem admetre que tota càrrega elèctrica en moviment genera un camp magnètic.

Un camp magnètic és originat pel moviment de les càrregues elèctriques. Per aquesta raó, al voltant d'un cable conductor pel que circula corrent es crea un camp magnètic que pot representar-se mitjançant línies circulars.

Escollim llavors com a trajectòria d'integració una circumferència de radi r , que coincideix amb la línia de camp i , en conseqüència, els vector de camp magnètic (tangent a la línia de camp) i dl (tangent a la trajectòria) tindran sempre la mateixa direcció.

Aplicant la llei de l'Ampere i tenint en compte que el vector camp magnètic i dl tenen la mateixa direcció:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot I \quad (3.2.2.1)$$

$$\oint B \cdot dl \cdot \cos\theta = \mu_0 \cdot I \quad (3.2.2.2)$$

\vec{B} és constant durant tota la trajectòria, ja que es troba a la mateixa distància del fil conductor podem treure'l fora de la integral:

$$B \oint dl = \mu_0 \cdot I \quad (3.2.2.3)$$

Com que la integral al llarg de tot el camí no és més que la longitud de la circumferència:

$$B \cdot 2\pi r = \mu_0 \cdot I \quad (3.2.2.4)$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (3.2.2.5)$$

La unitat de mesura de B s'anomena Tesla (T).

En un camp magnètic d'intensitat unitat, una càrrega d'un Coulomb movent-se a la velocitat d'un metre/segon, perpendicular al camp, experimenta una força d'un Newton.

El valor de μ_0 és conegut com permeabilitat magnètica i en el buit és de $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$.

3.2.3. Camp magnètic generat per una espira

Si es vol augmentar la intensitat de camp magnètic creat per una corrent en un punt, sense haver d'incrementar la intensitat del corrent, es pot desenrotllar el conductor al voltant del punt esmentat conferint forma d'espira (veure fig. 13).

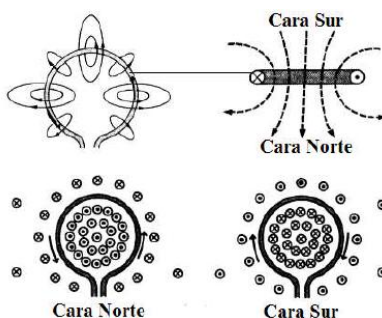


Figura 13. Camp magnètic generat per una espira

D'aquesta manera s'aconsegueix que les línies de camp s'agrupin en l'interior de l'espira mentre que es dispersen fora d'ella. Així podem concentrar el camp magnètic creat pel corrent en una regió determinada. El augment de la intensitat de camp que s'aconsegueix amb una espira ve donada pel factor π , de manera que en el centre d'una espira el valor del camp magnètic és:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r} \quad (3.2.3.1)$$

El valor del camp magnètic en una zona pot esdevenir major si enrotllem el conductor de forma d'hèlix estreta. Aquest dispositiu funciona com una associació de moltes espiras i es coneix amb el nom de solenoide o bobina.

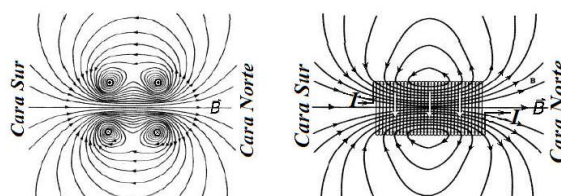


Figura 14. a) línies de camp magnètic creat per dues espiras en un pla que les talla perpendicularment per el seu centre; b) línies de camp magnètic creat per un solenoide en un pla que talla perpendicularment per al seu centre

Els camps creats per cadascuna de les espiras en l'interior de les mateixes, es reforcen i donen com a conseqüència unes línies de camp pràcticament paral·leles i equidistants. Entre les espiras, el camp és casi nul i fora d'elles el camp és molt més dèbil que en l'interior. L'associació de moltes espiras origina un camp magnètic molt similar al d'un imant de barra.

Les línies de camp magnètic són perpendiculars a les espiras i el seu sentit és el d'avanç d'un cargol que gira seguint el sentit de la intensitat del corrent. Es pot parlar d'una cara nord i una cara sud de l'espira o de la bobina, per on surten o entren, respectivament, les línies de camp.

Es pot utilitzar la llei de l'Ampere per obtenir una expressió per el camp magnètic a l'interior d'un solenoide ideal. Considerem una trajectòria rectangular de longitud l i amplada w com a la figura 14. Aplicant la llei de l'Ampere obtenim que:

$$\oint B \cdot ds = \int B \cdot ds = B \int ds = Bl$$

$$\oint B \cdot ds = Bl = \mu_0 NI$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{L} \quad (3.2.3.2)$$

On N és el nombre d'espiras contingudes en la longitud L

3.3. Magnetització i intensitat de camp magnètic

El estat magnètic d'una substància es descriu mitjançant una magnitud anomenada vector de magnetització M . La magnitud del vector de magnetització és igual al moment magnètic per

unitat de volum de la substància en qüestió. Com és d'esperar, el camp magnètic total en una substància depèn tant del camp magnètic (extern) aplicat com de la magnetització de la substància.

Considerem una regió on existeixi un camp magnètic B_0 produït per un conductor que porta corrent tal com a l'interior d'un toroide. Si omplim aquesta regió amb una substància magnètica, el camp magnètic total B de la regió serà:

$$B = B_0 + B_m \quad (3.3.1)$$

On B_m és el camp produït per la substància magnètica. Aquesta contribució pot expressar-se en termes del vector magnetització com:

$$B = \mu_0 \cdot M \quad (3.3.2)$$

Per tant el camp total en la substància ve a ser:

$$B = B_0 + \mu_0 \cdot M \quad (3.3.3)$$

És important introduir una altre magnitud de camp H , nombrada intensitat de camp magnètic. Aquesta magnitud vectorial es defineix per la relació:

$$H = \left(\frac{B}{\mu_0} \right) - M \quad (3.3.4)$$

$$B = \mu_0 \cdot (H + M) \quad (3.3.5)$$

En unitats del SI, les dimensions de H i M son A/m.

Per entendre millor aquestes expressions, considerarem la regió en l'interior d'una bobina toroïdal que porta un corrent I . Si la regió interior està buida, llavors $M=0$ i $B=B_0=\mu_0 H$. Com $B_0=\mu_0 \cdot n \cdot I$ en l'interior d'un toroide, on n és el nombre de voltes per unitat de longitud del seu debanat, llavors:

$$H = \left(\frac{B_0}{\mu_0} \right) = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot I}{\mu_0} \quad (3.3.6)$$

$$H = n \cdot I \quad (3.3.7)$$

És a dir, la intensitat del camp magnètic dins d'un toroide és deu a la corrent del seu debanat.

3.4. Corbes de magnetització

Una de les maneres possibles per magnetitzar un material, és introduir-lo en l'interior d'un solenoide i anar augmentant lentament el corrent que circula per ell, de manera que el camp magnètic sigui creixent.

Si es representen els valors de la densitat de flux magnètic B del solenoide en funció de la intensitat magnètica H deguda al corrent que circula per el solenoide, s'obté la corba de magnetització del material.

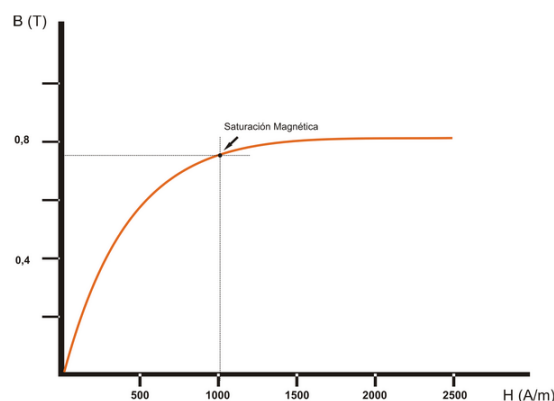


Figura 15. Corba de magnetització d'un material ferromagnètic

Com es pot observar en la figura 15, la densitat de flux B no és una funció lineal de la intensitat magnètica H , o dit d'una altra manera, la permeabilitat μ no és constant.

Si s'augmenta el valor de H suficientment, s'arriba a un punt, denominat saturació magnètica en el qual per més que s'augmenti la intensitat magnètica, el flux roman constant. Això es deu al fet que tots els seus dominis magnètics estan ja orientats.

3.5. Interacció entre corrent i camp magnètic

3.5.1. Força sobre una càrrega en moviment

Quan una partícula carregada es troba sense moviment dins d'un camp magnètic, no experimenta cap força. Però si està en moviment en una direcció diferent de les línies de camp magnètic, pateix una força magnètica que la desvia del seu curs. Aquesta força exercida per un camp magnètic sobre una càrrega (que pertany a un grup de càrregues) en moviment, és proporcional a la càrrega q i a la component de la velocitat de la càrrega en la direcció perpendicular a la direcció del camp magnètic.

L'expressió vectorial és:

$$\vec{F} = q\vec{v} \cdot \vec{B} \quad (3.5.1.1)$$

El sentit d'aquesta força per una càrrega positiva es pot determinar mitjançant l'aplicació de la "regla de la mà esquerra" ubicant el dit índex al sentit de \vec{B} i el dit del mig en el sentit de \vec{v} . La posició en que queda el dit polze ubicat perpendicularment als altres dos, senyala el sentit de \vec{F} . Si la càrrega és negativa s'invertiria el sentit de la força.

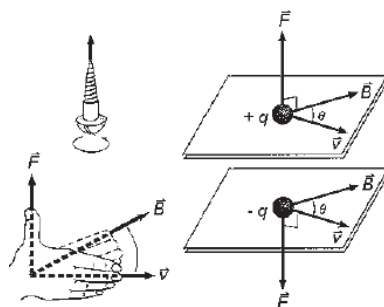


Figura 16. Regla de la mà dreta, on diu que la força F és perpendicular al pla determinat per la direcció de la velocitat v i del camp B .

La direcció de la força magnètica és perpendicular tant al camp magnètic com a la velocitat de la partícula. La seva intensitat es pot calcular mitjançant la següent relació:

$$F = qvB \cdot \sin\theta \quad (3.5.1.2)$$

En ella, θ és l'angle format pels vectors velocitat de la partícula i camp magnètic.

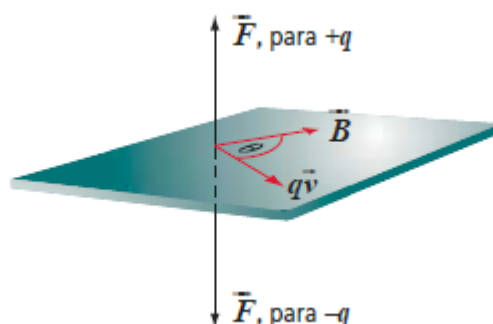


Figura 17. Direcció de la força F , donat un camp magnètic i la velocitat

A l'examinar la relació anterior, podem veure que la força és màxima quan els vectors velocitat i camp magnètic són perpendiculars entre sí, mentre que és nul·la si ambdós vectors són paral·lels.

Com que la força magnètica és perpendicular a la velocitat, el seu treball al moure la càrrega és nul. Per tant, la força magnètica no produeix canvi ni en la magnitud de la velocitat ni en l'energia cinètica de la partícula; només canvia la direcció de la velocitat.

Quan la partícula es mou en una regió en la que hi ha per un camp magnètic i un camp elèctric, la força total sobre ella és la suma de la força magnètica i la força elèctrica. Això és:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \cdot \vec{B}) \quad (3.5.1.3)$$

3.5.2. FORÇA MAGNÈTICA SOBRE UN CORRENT ELÈCTRIC

En un conductor pel que no passa corrent elèctric, el moviment dels electrons és l'atzar, i al situar-lo en la influència d'un camp magnètic la força magnètica resultant és nul·la. Però si pel conductor passa una intensitat de corrent, llavors els electrons es mouen en un sentit determinat i la força magnètica resultant no és nul·la.

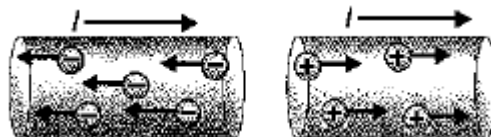


Figura 18. Per conveni, la intensitat de corrent que passa per un conductor té sentit contrari al dels electrons. Podem considerar que els portadors de càrrega tenen signe positiu i que es mouen amb una velocitat v en el sentit de la intensitat de corrent I

En un conductor rectilini de longitud L , travessat per un corrent d'intensitat I i sota l'acció d'un camp magnètic B (fig. 19), sabent que la càrrega elèctrica q que circula per un conductor és:

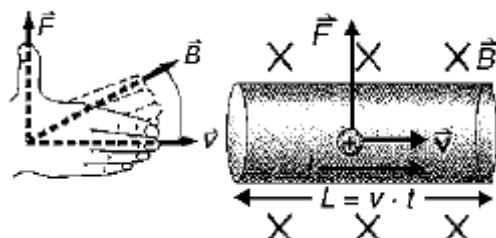


Figura 19. Força magnètica sobre cada portador de càrrega elèctrica positiva

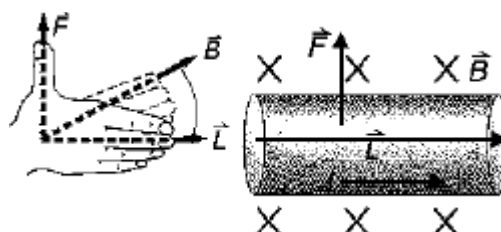


Figura 20. Acció d'un camp magnètic sobre un conductor amb corrent elèctric

$$q = I \cdot t \quad (3.5.2.1)$$

Podem afirmar que la força magnètica que actua sobre el conductor rectilini és en mòdul:

$$F = I \cdot t \cdot v \cdot B \cdot \sin\theta = I \cdot L \cdot B \cdot \sin\theta \quad (3.5.2.2)$$

I vectorialment:

$$\vec{F} = I(\vec{L} \wedge \vec{B}) \quad (3.5.2.3)$$

On \vec{L} és un vector de mòdul la longitud del fil, i de direcció i sentit el de la intensitat de corrent elèctric I , que coincideix amb el sentit de la velocitat \vec{v} dels portadors de càrrega elèctrica positius.

3.5.3. FORÇA MAGNÈTICA ENTRE DOS CONDUCTORS PARAL·LELS

Suposem dos conductors rectilinis paral·lels, separats una distància d , pels que circulen corrents elèctrics d'intensitats I_1 i I_2 (fig. 22). Cada corrent elèctric origina un camp magnètic (segons la llei de Biot i Savart) en el que es troba immersa l'altre corrent, pel que cada conductor experimenta una força magnètica que, per la llei d'acció i reacció, ha de ser igual en mòdul i direcció, tot i que de sentit oposat. En mòdul seria:

$$F_{21} = I_1 \cdot L \cdot B_2 = I_1 \cdot L \cdot \frac{\mu \cdot I_2}{2\pi d} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{d} \cdot L \quad (3.5.3.1)$$

$$F_{12} = I_2 \cdot L \cdot B_1 = I_2 \cdot L \cdot \frac{\mu \cdot I_1}{2\pi d} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{d} \cdot L \quad (3.5.3.2)$$

$$F_{21} = F_{12} \quad (3.5.3.3)$$

Com s'observa en la fig. 21, hi haurà una força d'atracció entre els dos conductors quan els corrents circulin en el mateix sentit, i de repulsió entre els conductors si els corrents circulen en sentits oposats.

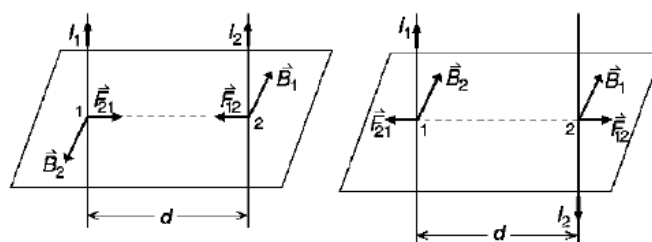


Figura 21. Forces d'atracció i repulsió entre conductors

El mòdul de la força magnètica per unitat de longitud entre dues corrents paral·leles val:

$$\frac{F}{L} = I_2 \cdot B_1 = I_1 \cdot B_2 = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{d} \quad (3.5.3.4)$$

L'existència d'aquesta força magnètica ens permet definir l'ampere (A) com unitat d'intensitat del corrent elèctric en el SI: un ampere és la intensitat de corrent que, circulant per dos conductors paral·lels i indefinits, separats un metre, en el buit, dóna lloc a una força entre ells de $2 \cdot 10^{-7}$ N per metre de longitud de conductor. Aquesta definició fa que la permeabilitat magnètica del buit sigui exactament $4 \pi \cdot 10^{-7}$ N/A².

3.5.4. Força i parell sobre una espira

Imaginem una espira quadrada en el si d'un camp magnètic, tal com es mostra en la figura

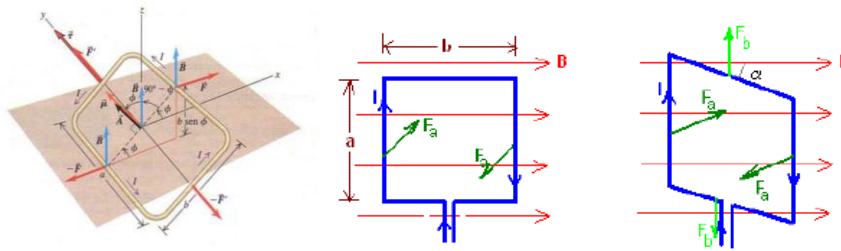


Figura 22. Força i parell en una espira

En el costat b:

- Inicialment no exerceix cap força perquè el corrent i el camp tenen la mateixa direcció $\alpha=0$, així que el seu producte escalar serà nul.
- Quan l'espira giri a un angle $\alpha \neq 0$ llavors la força dels dos costats b ja no és nul·la, perquè tindrà el valor de:

$$F_b = I \cdot b \cdot B \cdot \sin\alpha \quad (3.5.4.1)$$

Però la força d'ambdós costats té la mateixa direcció i sentit oposats, és a dir, s'anul·laran. Aquesta força varia en mòdul però depèn de l'angle α que formen la corrent i el camp, però sempre té la mateixa direcció vertical.

En el costat a:

- En tot moment la intensitat del corrent i el camp magnètic formen 90° , així doncs la força sempre té el seu valor màxim

$$F_a = I \cdot a \cdot B \quad (3.5.4.2)$$

- En tot moment la força és perpendicular al fil conductor, i formen un parell que fa girar l'espira amb un moment igual a :

$$M = F_a \cdot b = IaB \cdot b = I \cdot S \cdot B \quad (3.5.4.3)$$

On s'ha tingut en compte que l'àrea de l'espira és: $S=ab$

De forma vectorial, el moment sobre l'espira és:

$$\vec{M} = I\vec{S} \wedge \vec{B} \quad (3.5.4.4)$$

3.6. Flux magnètic

El flux d'un camp magnètic que travessa una superfície es defineix com el producte escalar entre el vector \vec{B} i el vector superfície \vec{S} . El vector superfície és un vector amb direcció normal a la superfície el qual el seu mòdul és el valor d'aquesta.

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos\alpha \quad (8.8)$$

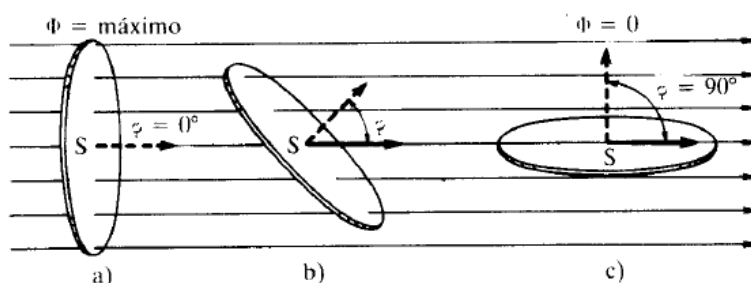


Figura 23. Superfície travessada per un flux magnètic

Com es tracta d'un producte escalar, el flux dependrà del mòdul del vector d'inducció magnètica, de la superfície, i de l'angle que forma la superfície amb \vec{B} .

Les seves unitats de mesura en el SI són el weber

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$$

3.7. Circuit magnètic

El fet de que els materials ferromagnètics concentrin les línies de camp \vec{B} , fa que en una primera aproximació es pugui suposar que les línies de camp magnètic quedin canalitzades dins del material ferromagnètic de la mateixa forma que els conductors ho fan amb la corrent elèctrica.

Considerem un anell tancat de secció uniforme. El flux a través d'una secció S serà:

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS = \mu HS = \mu \frac{NI}{l} S \quad (3.7.1)$$

On N és el nombre total d'espores i l la longitud de la bobina. L'equació anterior es pot escriure:

$$\Phi = \frac{NI}{l/\mu S} \quad (3.7.2)$$

I per analogia amb la llei d'Ohm, es denomina al numerador NI, força magnetomotriu i reluctància del circuit magnètic, R al denominador

$$R = \frac{l}{\frac{l}{\mu_r \mu_o S}} = \frac{l}{\mu_r \mu_o S} \quad (3.7.3)$$

En conseqüència, l'expressió del flux serà:

$$\Phi = \frac{f \cdot m \cdot m.}{R} = \frac{NI}{R} \quad (3.7.4)$$

Que es pot dir que és la llei d'Ohm dels circuits magnètics. El producte NI és el que dona l'impuls a les línies de \vec{B} , creant un flux en el material ferromagnètic, al que s'oposa aquest amb una reluctància.

En la pràctica, l'equació anterior pot ser aplicada als circuits que tenen diferent materials, com per exemple un electroimant on existeix una petita separació o entreferro entre els pols. En aquest cas, i per molt estreta que sigui la separació, s'observa una dispersió considerable de les línies de força, que equivaldria a un debilitament del camp en aquesta zona. Per un circuit magnètic amb dos medis materials diferents (ferro i aire en el cas de l'electroimant) en sèrie, la reluctància serà:

$$R = R_1 + R_2 = \frac{l}{\mu_r \mu_o S} + \frac{l'}{\mu_o S} = \frac{l}{\mu_o S} \left(\frac{l}{\mu_r} + l' \right) = \frac{l}{\mu_o S} \left(\frac{l + \mu_r l'}{\mu_r} \right) = \frac{l + \mu_r l'}{\mu_r \mu_o S} \quad (3.7.5)$$

Per tant, el flux a través de la secció serà:

$$\Phi = \frac{NI}{R} = \frac{\mu_r \mu_o NI S}{l + \mu_r l'} \quad (3.7.6)$$

I el camp en el valor de l'entreferro serà:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{\mu_r \mu_o NI}{l + \mu_r l'} \quad (3.7.7)$$

Com la permeabilitat relativa del ferro és gran, el sumand $\mu_r l'$ del denominador té gran influència. Per això el camp entre els pols es fa major conforme es disminueix la longitud de l'entreferro.

3.8. Principis fonamentals de l'electromagnetisme

3.8.1. Inducció electromagnètica

La inducció electromagnètica és el procés mitjançant el qual es genera un corrent elèctric en un circuit com a resultat de la variació d'un camp magnètic.

3.8.2. Força electromotriu induïda. Llei de Faraday

Considerem en primer lloc, un conductor rectilini de longitud l , que es mou a través d'un camp magnètic uniforme, perpendicular al plànol del paper i cap endins. Si per simplicitat, suposem que el conductor es mou amb una velocitat \vec{v} cap a la dreta, perpendicular a \vec{B} , les càrregues lliures del conductor experimenten una força definida per

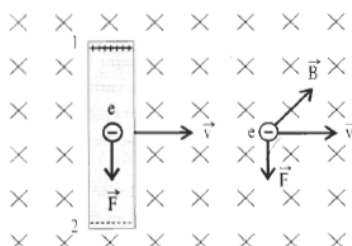


Figura 24. En un conductor, en moviment dins d'un camp magnètic, apareix un camp elèctric per desplaçament dels seus electrons

$$\vec{F} = q\vec{v} \cdot \vec{B}$$

Per tant, els electrons es mouran cap a l'extrem inferior i s'acumularan allà, deixant una càrrega neta positiva en l'extrem superior. A conseqüència d'aquest fenomen, es crea un camp elèctric no conservatiu dins del conductor, que s'oposa a què els electrons segueixin acumulant-se en la part inferior: és a dir, la càrrega en els extrems va augmentant fins que la força elèctrica sigui igual a la força magnètica:

$$\vec{F} = q\vec{E} = q\vec{v} \cdot \vec{B} \quad (3.8.2.1)$$

En aquest instant la càrrega deixa de fluir i la condició d'equilibri exigeix que:

$$\vec{E} = -(\vec{v} \cdot \vec{B}) \quad (3.8.2.2)$$

I atès que els vectors \vec{v} i \vec{B} són perpendiculars, el modul E esdevindrà:

$$E = vB \quad (3.8.2.3)$$

La presència d'aquest camp elèctric dóna lloc a una d.d.p. entre els dos extrems del conductor donada per:

$$V_1 - V_2 = El = vBl \quad (3.8.2.4)$$

Un altre situació més interessant s'esdevé quan el conductor mòbil és part integrant d'un circuit, com succeeix si la barreta mòbil es desplaça al llarg d'un fil conductor fixe en forma de U. Les càrregues lliures del conductor U es veuràn sotmeses ara a l'acció d'un camp elèctric produït per la barreta mòbil, amb això s'estableix una corrent en el circuit en el sentit en que es mouen les agulles del rellotge. Això provoca que l'excés de càrrega en els extrems del conductor mòbil es redueixi, per immediatament les forces magnètiques provoquen que continui el desplaçament dels electrons cap a l'extrem inferior de la barreta mòbil. Per tant, conseqüentment, mentre segueixi movent-se la barreta es tindrà corrent en el circuit. El conductor mòbil equival a un generador, com s'indica en la fig 26.

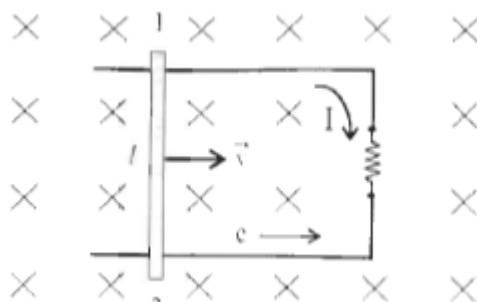


Figura 25. En un camp elèctric, produït en un conductor mòbil, origina un desplaçament dels electrons dins del conductor fix en forma d'U

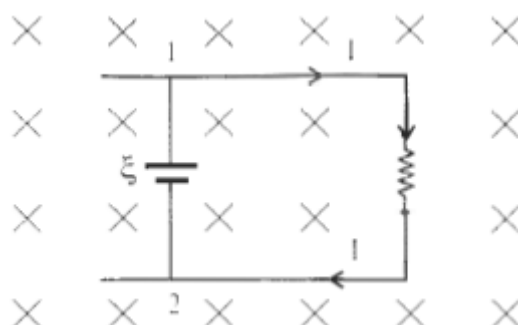


Figura 26. El conductor mòbil equival a un generador

Pel seu càlcul, la f.e.m. d'un generador es defineix com la circulació del camp elèctric no conservatiu al llarg d'un circuit on estigui intercalat dit generador (treball realitzat per la força elèctrica no conservativa al recórrer la unitat de càrrega de tot el circuit).

En aquest cas tot esdevé com si els electrons de la barra estiguessin sotmesos a la força elèctrica

$$\vec{F} = e\vec{E} \quad (3.8.2.5)$$

Sota l'acció del camp induït

$$\vec{F} = \vec{v} \times \vec{B} \quad (3.8.2.6)$$

De manera que la força electromotriu induïda serà la circulació de dit camp extesa a tot el contorn definit pel circuit. Circulació que coincideix amb la d.d.p. entre els extrems de la barreta mòbil, ja que en la part immòbil del circuit no hi ha inducció:

$$\xi = \oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = \oint_L (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = \int_2^1 vBdl = vBI \quad (3.8.2.7)$$

En el que s'ha pres com a sentit de circulació el sentit de la corrent induïda. Com a conseqüència doncs, del moviment d'un dels elements del circuit apareix una corrent elèctrica que recorre, caracteritzada per una certa f.e.m. induïda, que a la vegada, implica l'existència d'un camp elèctric no conservatiu.

A l'aparèixer corrent en un circuit, sobre el conductor mòbil apareix una força

$$\vec{F} = \vec{R} \times \vec{B} \quad (3.8.2.8)$$

Que s'oposa al moviment i per tant al pas del corrent en el circuit. Si es vol que el corrent segueixi circulant s'ha que vèncer l'acció de la força magnètica: per això, s'haurà que gastar una energia mecànica que permeti que la barreta mòbil segueixi desplaçant-se amb la mateixa velocitat \vec{v} i mantingui estacionària el corrent induït en el circuit. La potència elèctrica obtinguda és igual a la potència mecànica desenvolupada:

$$P = Fv = RBv = \xi I \quad (3.8.2.9)$$

D'altra banda quan el conductor mòbil, de longitud l , en el temps dt es desplaça una distància vdt sobre una superfície $dS = lvdt$, la variació de flux magnètic que experimenta la superfície limitada pel circuit és:

$$d\Phi = -BdS = Blvdt = -\xi dt \quad (3.8.2.10)$$

On obtenim

$$\xi = \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.8.2.11)$$

Aquesta expressió es coneix com la llei de Faraday i diu així: la f.e.m. induïda en un circuit és igual i de signe contrari a la velocitat amb la què varia el fluxe magnètic a través de dit circuit.

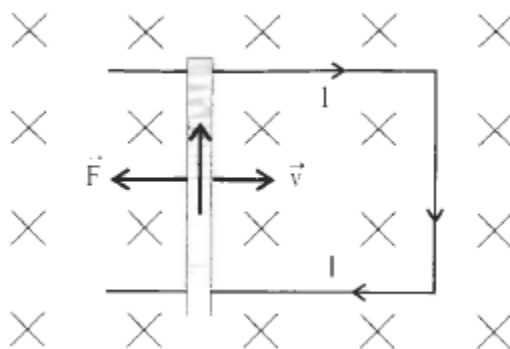


Figura 27. La potència mecànica consumida al desplaçar el conductor mòbil es transforma en energia elèctrica

3.8.3. Llei de Lenz

El signe menys de la llei de Faraday diu que la f.e.m. induïda s'oposa a la variació de flux a través del circuit, és a dir, s'oposa al desplaçament de la barreta. Encara que la barreta es segueixi desplaçant amb velocitat constant, el sentit del corrent induït és tal que, el camp magnètic creat per ell s'oposa a aquesta variació de flux.

Podem afirmar que: el sentit del corrent induït (o el que és equivalent, el signe de la f.e.m. induïda que produeix) és tal que s'oposa a la variació del flux magnètic que l'origina.

3.8.4. Corrent de Foucault

Degut a que els corrents induïts apareixen sempre que es produeix un canvi de flux magnètic quan el conductor és una massa metàl·lica, bé perquè estigui immersa en un camp magnètic variable o bé perquè es mogui en un camp magnètic, apareixen en el seu interior corrents tancats induïts, en forma de remolí, que tendeixen a oposar-se a la variació de flux en l'interior del metall.

Per evitar aquests corrents on esdevenen perjudicials, es procura que els nuclis o la massa metàl·lica no siguin massissos, sinó formats per la superposició de làmines aïllades entre si.

4. Classificació general de les màquines elèctriques

4.1. Generadors elèctrics

El generador més simple consisteix en una espira que gira amb una velocitat angular constant en l'interior d'un camp magnètic uniforme produït per un imant o electroimant.

És important senyalar que requereixen algun tipus de font d'energia. El corrent induït en les espiras del generador ocasiona l'aparició de parells de força magnètica que en tot moment s'oposen al gir de l'espira. En un generador, part de l'energia mecànica que el mou, es transforma en energia elèctrica que es transmet com una vibració d'electrons al llarg del conductor.

- **Generadors elèctrics de corrent alterna**

Els extrems de dita espira estan enllaçats a uns anells que giren amb ella. La connexió elèctrica es realitza mitjançant escombretes estacionàries en contacte amb els anells. Conforme l'espira canvia el flux magnètic que la travessa, varia l'àrea efectiva que presenta l'espira per ser travessada pel camp magnètic. De manera alternativa, creix i decreix esmentada àrea. Cada volta el corrent induït en l'espira canvia de sentit, originant un corrent altern.

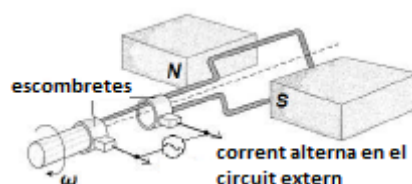


Figura 28. Principi de funcionament d'un generador de corrent altern

- **Generadors elèctrics de corrent continu**

El dispositiu que genera corrent continu s'anomena dinamo. Consisteix en connectar els terminals a un anell dividit i partit en dues parts. El corrent subministrat és continu però d'intensitat variable (entre un valor màxim i zero). En el gir, els terminals de la bobina canvien d'escombreta al temps que s'inverteix el sentit del corrent.

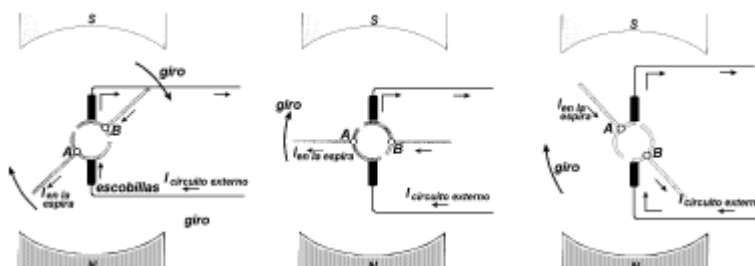


Figura 29. Principi de funcionament d'un generador de corrent continu

4.2. Transformadors elèctrics

El transformador es basa en la inducció mútua de dues bobines enrotllades al mateix nucli de ferro laminat i aïllat entre si. La variació temporal d'un corrent elèctric altern en la bobina primària (inductora), amb N_1 espires, produeix un camp magnètic variable on les seves línies de camp actuen sobre la bobina secundària (induïda), amb N_2 espires, induint en ella una tensió elèctrica diferent, major (elevador o transformador d'alta) o menor (reductor o transformador de baixa) en funció de la relació entre les espires.

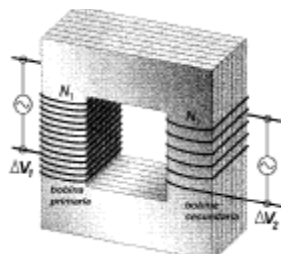


Figura 30. Transformador elèctric

4.3. Motors elèctrics

En essència, el funcionament d'un motor elèctric és justament a l'inrevés del generador elèctric: converteix el corrent elèctric en camps magnètics, els quals, a la vegada, causen un moviment rotatori útil.

En el següent capítol s'explica amb més deteniment el funcionament i els principals components d'un motor elèctric de corrent continu.

5. Màquina de corrent continu

5.1. Elements constructius de les màquines de corrent continu

L'estructura física d'una màquina de corrent continu consta de dues parts:

- L'estator: part estacionària de la màquina.
- El rotor: part mòbil de la màquina.

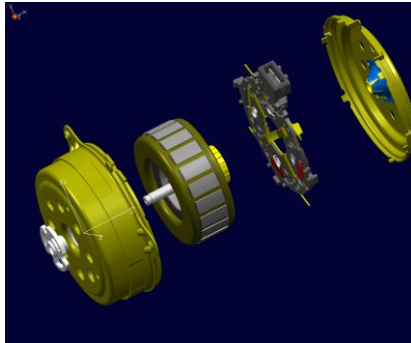


Figura 31. Detall d'un motor de corrent continu amb escombretes

La part estacionària consta d'una estructura que proporciona suport físic i les peces polars, les quals es projecten endins i proveeixen el flux magnètic de la màquina.

El rotor es munta en un eix que descansa en dos rodaments o coixinets: aquests formen part de la culata o tapa que estan subjectes a la carcassa de l'estator.

5.2. Construcció del rotor o induït

El rotor d'una màquina de corrent continu consisteix en un eix mecanitzat d'una barra d'acer i un nucli muntat a sobre. El nucli està compost per un nombre determinat de làmines encunyades d'acer, i disposa d'unes ranures al llarg de la seva superfície exterior per allotjar els bobinats de l'induït.

El nucli està envoltat per unes estrelles aïllants que protegeixen el motor de curtcircuit en cas de fondre's la pel·lícula aïllant que envolta el fil conductor de la bobina.

L'espai d'aire que separa l'estator del rotor, necessari perquè la màquina pugui girar, es denomina entreferro, essent el camp magnètic existent en ell el que constitueix el medi d'acoblament entre els sistemes elèctric i mecànic.

Les cares polars de la màquina són corbes per poder proveir, un ample uniforme de l'entreferro i donar una densitat de flux uniforme en tot punt situat sota les cares polars de la màquina.

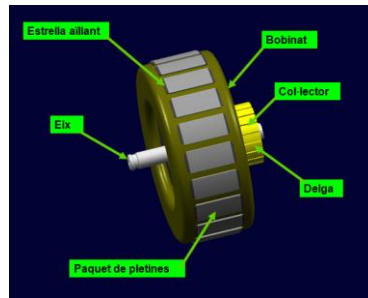


Figura 32. Induït d'un motor de corrent continu amb escombretes

5.2.1. Col·lector i escombretes

El col·lector està construït sobre l'eix del rotor en un extrem del nucli. Les bobines de l'induït es disposen en les ranures del nucli, i els seus extrems estan connectats als segments del col·lector.

El col·lector està format per barres de coure aïllades unes de les altres amb baquelita. Les barres de coure, o també denominades delgues, es dissenyen suficientment gruixudes per permetre un desgast en la vida útil del motor.

Les escombretes del motor, han de tenir una alta conductivitat per reduir les pèrdues elèctriques i un baix coeficient de fregament per reduir el desgast excessiu. Les escombretes són fabricades d'un material molt més tou que el col·lector perquè la superfície d'aquest últim es desgasti menys.

Per tal que les escombretes estiguin en tot moment en contacte amb el col·lector, s'han de disposar uns ressorts perquè hi hagi en tot moment una pressió que obligui a l'escombreta a tenir fregament directe amb el col·lector, ja que aquest contacte és el mitjà pel qual un motor elèctric de corrent continu transforma voltatge corrent altern en continu.

Aquesta pressió ha de ser calculada minuciosament ja que si la pressió és molt gran, tant les escombretes com les delgues del col·lector es desgastaran massa. I si la pressió és massa petita, les escombretes tendeixen a recolzar-se lleugerament sobre el col·lector provocant una gran quantitat d'espurnes en l'interfície escombreta delga del col·lector.

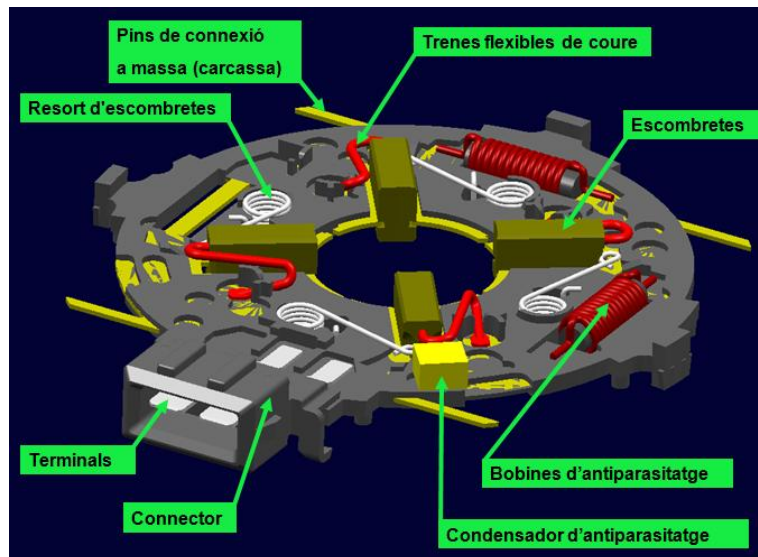


Figura 33. Portaescombretes d'un motor de corrent continu amb escombretes

5.2.2. Bobinat del rotor o induït

Els bobinats del rotor consten de bobines en forma de diamant, les quals estan inserides dins les ranures de l'induí com una sola unitat. Cada bobina té un nombre de voltes o espirs de fil i cada volta ha d'estar aïllada de les altres espirs i de la ranura del conductor. Cada costat d'una volta es denomina conductor. El número de conductors en l'induí de la màquina està donat per:

$$Z = 2CN_c \quad (5.2.2.1)$$

On,

- Z = nombre de conductors en el rotor
- C = nombre de bobines en el rotor
- N_c = nombre de voltes per bobina

5.2.2.1. Connexió dels segments de commutació

En els induïts de les màquines de corrent continu, el bobinat es distribueix en forma d'enrotllaments distribuïts per cobrir tota la perifèria de la màquina, situant les bobines en les ranures practicades en el nucli de l'induí.

La distància entre els segments de commutació als quals es connecten dos extrems d'una bobina, s'anomena pas de col·lector. Si el final d'una bobina està connectat a un segment de col·lector situat davant d'aquell en el qual està connectat el seu principi, el debanat s'anomena debanat progressiu. Si el final d'una bobina està connectada a un segment del col·lector situat rere d'aquell al qual està connectat el seu principi, el debanat s'anomena debanat regressiu, (la direcció de gir serà oposada en un debanat progressiu a un de regressiu).

També podem trobar debanats símplex, debanat únic, complert, tancat sobre el rotor. I un debanat dúplex: aquells que consta de dos grups complets i independents de debanat en el rotor.

Els debanats dels induïts es classifiquen d'acord a la seqüència de les seves connexions als segments de commutació:

- *Debanats imbricats*

Consisteix en la connexió d'una o més voltes de fil amb els dos extrems de cada bobina a segments adjacents de commutació.

Aquest debanat també pot ser progressiu si el final de la bobina està connectat al següent segment adjacent al qual està connectat el seu principi, o regressiu si el final de la bobina està connectat al segment de commutació anterior al segment adjacent el qual està connectat el seu principi.

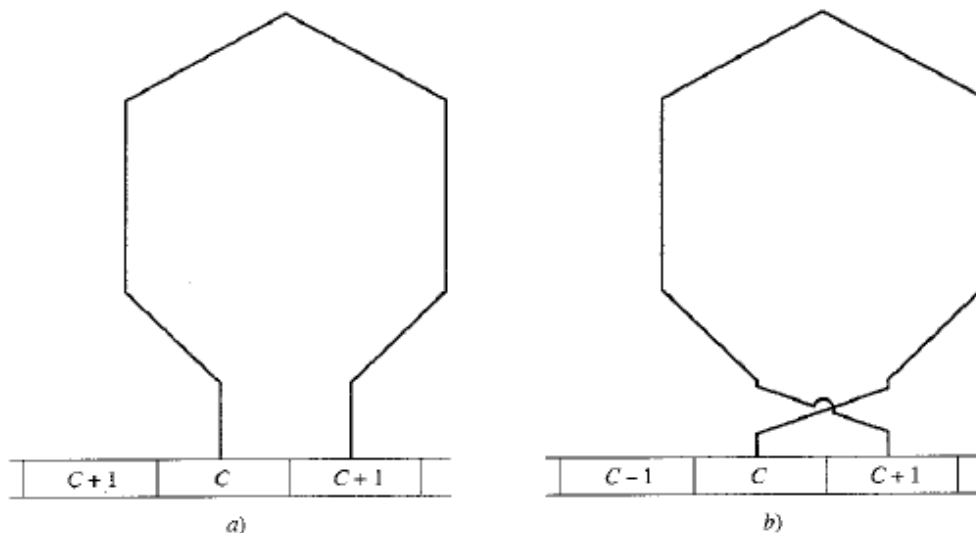


Figura 34. a) Bobina d'un debanat progressiu de rotor; b) Bobina d'un debanat regressiu de rotor

- *Debanat ondulat*

Aquest tipus de bobinat es caracteritza perquè al bobinar es va recorrent l'induït i en conseqüència el col·lector.

Consisteix en que cada segona bobina del rotor es connecta al segment del col·lector posterior adjacent a aquell segment en el qual es connecta el començament de la primera.

Llavors, hi ha dos bobines en sèrie entre segments de commutació adjacent. A més, donat que cada parell de bobines situades entre segments adjacents tenen un costat avall de cada cara

polar, tots els voltatges de sortida són la suma dels efectes de cada pol i no es produeixen desequilibris de voltatge.

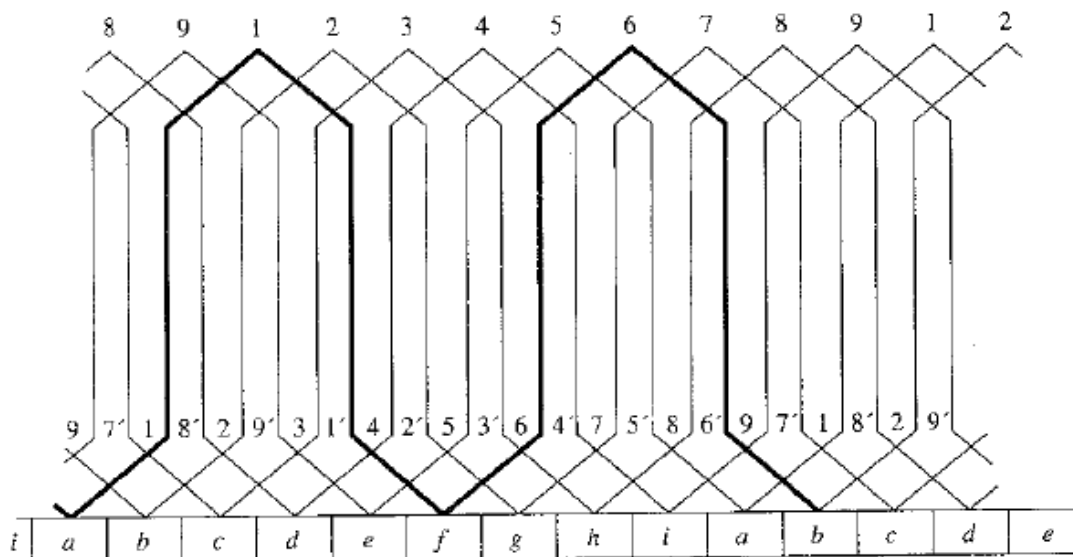


Figura 35. Diagrama de debanat ondulat del rotor

5.3.Funcionament: commutació

La commutació és el procés de convertir els voltatges i corrents alterns produïts en el rotor d'una màquina en corrents continus en els seus terminals.

D'acord a la llei de Faraday, la f.e.m. induïda en una espira al girar dins d'un camp magnètic B, serà:

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d}{dt} (B \cdot S \cdot \cos p\alpha) \quad (5.3.1)$$

On,

- S = superfície de l'espira
- $p\alpha$ = angle elèctric entre el vector inducció magnètica B i la superfície de l'espira

Tenint en compte que també es compleix:

$$\Omega_m = \frac{d\alpha}{dt} = 2\pi \frac{n}{60} \quad (5.3.2)$$

On n indica el nombre de rpm. de l'espira i prenen com a referència $p\alpha = 0$ en $t=0$, obtenim la següent f.e.m. en l'induït:

$$e = B \cdot S \cdot p\Omega_m \cdot \sin p\Omega_m t \quad (5.3.3)$$

Que al comparar amb l'expressió general d'una f.e.m. alterna

$$e = E_m \cdot \sin \Omega t \quad (5.3.4)$$

Es dedueix, doncs, que la relació entre les r.p.m. de la màquina i de la freqüència

de les f.e.m. alterna obtinguda és:

$$\Omega = 2\pi f = p\Omega_m = p2\pi \frac{n}{60} \quad (5.3.5)$$

$$f = \frac{np}{60} \quad (5.3.6)$$

És a dir, en l'espira s'obté una f.e.m. alterna, on la seva freqüència (f) és proporcional a la velocitat de gir (n) i al nombre de parells de pols de la màquina (p).

Aquest procés converteix la velocitat angular de l'eix de la màquina en freqüència de la tensió induïda.

- **Procés de transformació del corrent altern en continu**

Per explicar aquest procés ens ajudarem de l'esquema més elemental d'una màquina amb un parell de pols i una espira.

Observi's la figura 36, on s'aprecia que els extrems de l'espira van a parar a un anell format per dos segments de coure, denominats delgues. Sobre les delgues van col·locades unes escombretes, fixes en el espai, a les quals es connecta el circuit exterior. La missió del col·lector és obligar que el corrent que circula pel circuit exterior circuli sempre en el mateix sentit, de tal manera que encara que la f.e.m. induïda en l'espira sigui sinusoidal, el corrent que travessi el circuit sigui sempre unidireccional.

La posició de les escombretes en l'espai no és indiferent, ja que per poder rectificar totalment el corrent altern de l'induït és necessari disposar-les de tal manera que la f.e.m. induïda en l'espira sigui igual a zero en el moment en què l'escombreta passi d'una delga a una altre.

Com es pot comprovar en l'instant t_1 , el pla de l'espira és vertical, on el flux magnètic és màxim i en conseqüència la f.e.m. induïda és nul·la, ja que en aquesta situació, les induccions en ambdós trams de l'espira estan situats en la línia neutre.

Al passar l'espira del instant t_1 a t_2 , la f.e.m. induïda anirà augmentant progressivament, ja que va elevant-se d'inducció en els trams de l'espira, a l'apropar-se aquesta al centre dels pols. En l'instant t_2 , la f.e.m. induïda serà màxima, ja que correspon a la màxima inducció en els trams de l'espira. La f.e.m. en la part fosca de l'espira es dirigirà de (b) a (a), (sentit del producte vectorial $B \times v$); mentre que en la part clara de l'espira, la f.e.m. s'induirà de (d) a (c), i d'aquí el sentit de la desviació que apareix en el voltímetre de la figura 36 en l'instant t_2 , que es dirigeix de l'escombreta negra a la blanca.

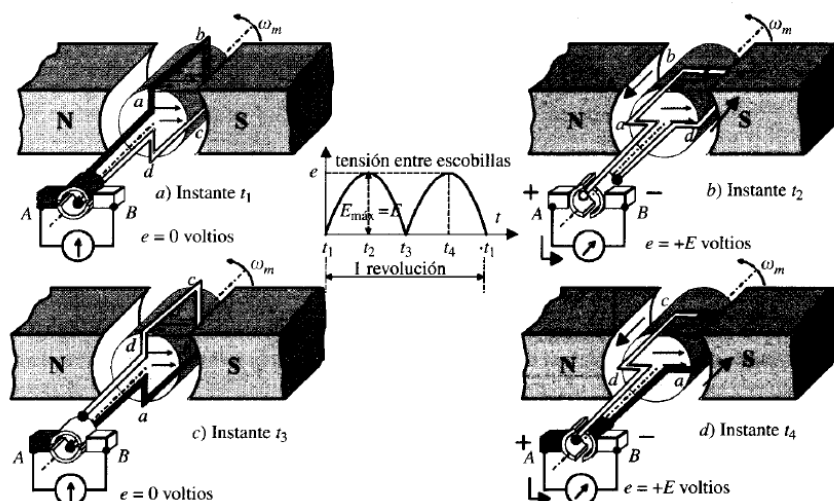


Figura 36. Funcionament del col·lector i tensió obtinguda entre escombretes

Com vulgui que es mogui l'espira, l'escombreta negra/blanca serà sempre positiva/negativa, per el que el corrent es dirigirà sempre en el circuit exterior des de l'escombreta negra a la blanca; el que significa que la tensió de sortida té caràcter unidireccional.

Així doncs, amb un col·lector de delgues podem aconseguir que la forma d'ona que s'obté en el circuit exterior sigui diferent a la forma d'ona que existeix en l'induït. En particular, una senyal de corrent alterna en l'induït es transforma en corrent continua en el circuit exterior.

En la pràctica per obtenir una cc que tingui menor oscil·lació, s'augmenta el número de delgues en el col·lector amb més bobines en l'induït. En la fig. 37 es pot observar la forma d'ona que presenta un col·lector amb quatre delgues i dos espises: la forma d'ona posseeix menys variació i s'apropa més a un corrent continu constant.

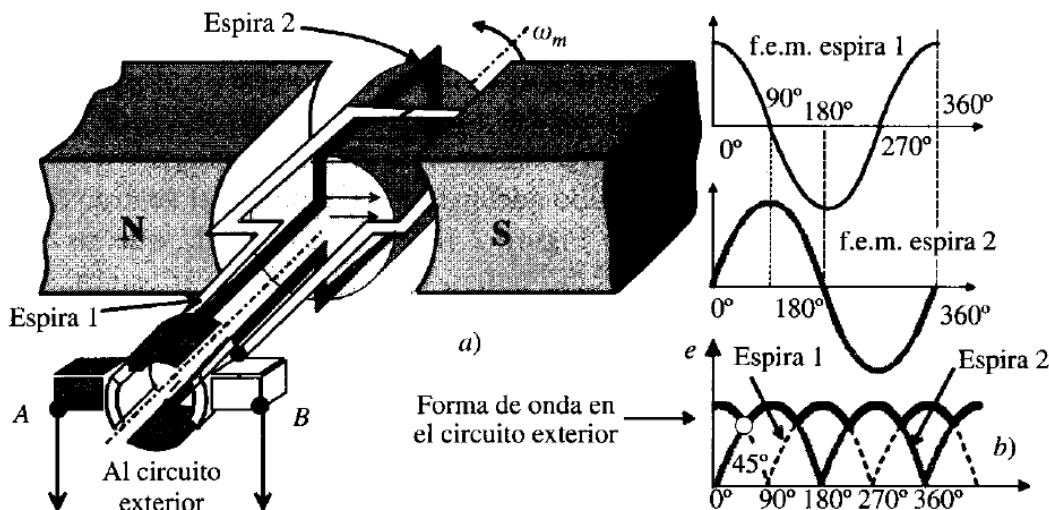


Figura 37. Induït amb dues bobines i col·lector de quatre delgues

5.4. Corbes característiques i de funcionament

La millor manera de conèixer les característiques dels motors és analitzant les seves corbes de funcionament, de les quals la més emprada és la corba que relaciona la velocitat i la intensitat en funció del parell.

Dita gràfica és molt important ja que la superposició d'aquesta amb la gràfica parell-velocitat donada pel ventilador que ha de moure el motor ens dóna el punt de funcionament del motor.

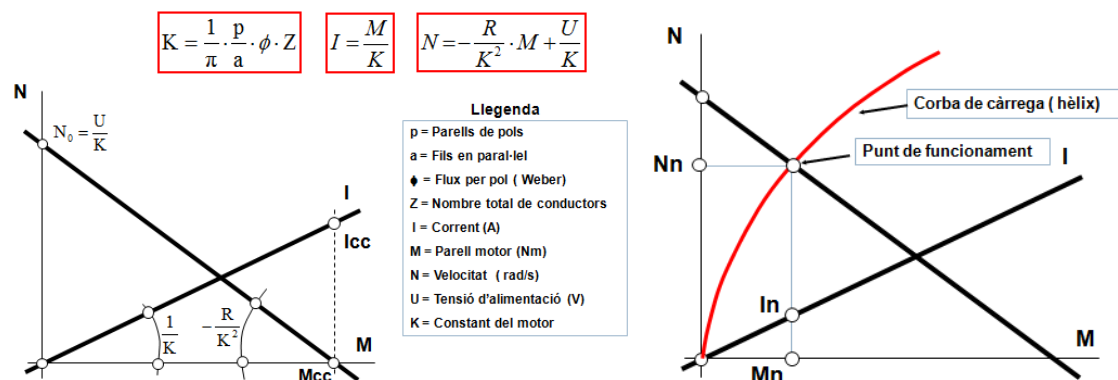


Figura 38. Corbes característiques de funcionament

5.5. Rendiment d'un motor de corrent continu

Els motors elèctrics prenen potència elèctrica i entreguen potència mecànica. Encara que no tota la potència d'entrada al motor és entregada com energia útil, doncs sempre hi ha alguna pèrdua associada al procés.

L'eficiència d'una màquina es defineix per l'equació següent:

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \times 100\% \quad (5.5.1)$$

La diferència entre la potència d'entrada i la de sortida del motor són les pèrdues que es produeixen en el seu interior. Aleshores,

$$\eta = \frac{P_e - P_{perd.}}{P_e} \times 100\% \quad (5.5.2)$$

5.6. Pèrdues en els motors de corrent continu

En la transformació electromecànica que té lloc en una màquina elèctrica, una fracció de la potència transformada es converteix en calor i no s'utilitza, constituent les anomenades pèrdues en el motor.

Les pèrdues que es produeixen dins els motors elèctrics es poden dividir en:

- *Pèrdues elèctriques o en el coure*

Són conseqüència de la inevitable resistència que presenten els conductors elèctrics, donant lloc a una pèrdua en forma de calor per l'efecte Joule.

$$P_{cu} = \sum R_j i_j^2 \quad (5.6.1)$$

On R_j i i_j representen, respectivament, la resistència i corrent que corresponen al bobinat j . Denominant ρ_j a la resistivitat dels conductors, l_j a la seva longitud i s_j a la seva secció transversal:

$$P_{cu} = \sum \rho_j \left(\frac{l_j}{s_j} \right) i_j^2 = \sum \rho_j l_j \left(\frac{i_j}{s_j} \right) s_j^2 \quad (5.6.2)$$

Denominant J_j a la densitat de corrent, és a dir, al quocient entre $\frac{i_j}{s_j}$ i al ser el volum del coure igual a $l_j s_j$, s'obté:

$$P_{cu} = \sum \rho J_j^2 \cdot (volum) \quad (5.6.3)$$

Que expressa les pèrdues del coure en funció de la resistivitat, la densitat de corrent i volum del bobinat. Es pot observar que les pèrdues són proporcionals al volum del material i a la densitat de corrent que circula pels conductors.

- **Pèrdues en les escombretes**

Corresponen a la potència perduda a través del contacte potencial entre les escombretes.

$$P_b = V_b I_A \quad (5.6.7)$$

On P_b són les pèrdues en les escombretes, V_b caiguda del voltatge en les escombretes i I_A corrent que circula per l'induït.

Les pèrdues en les escombretes es calculen mitjançant l'equació anterior ja que, la caiguda de voltatge a través d'un conjunt d'escombretes és aproximadament constant en un ampli rang de corrent en l'induït.

- **Pèrdues en el nucli**

Es produeixen en tots els òrgans del motor que són recorreguts per fluxos variables. Es componen de pèrdues per histèresi i pèrdues per corrents de Foucault. En les màquines de corrent continu les pèrdues per histèresi i corrents paràsites, en una primera aproximació es redueixen tan sols al paquet magnètic del rotor; però a l'hora d'efectuar els càlculs de rendiment d'aquestes màquines, no es comptabilitzen.

$$P_{Fe} = P_H + P_F = (k_H f B_m^\alpha + k_F f^2 B_m^2 a^2 \sigma) \cdot vol \quad (5.6.8)$$

Essent:

- k_H i k_F constants;
- f , la freqüència;
- B_m , la inducció màxima;
- a l'espessor de les xapes magnètiques;
- σ , la conductivitat de les mateixes.

- **Pèrdues mecàniques**

Les pèrdues mecàniques en un motor elèctric són les pèrdues associades als efectes mecànics. Existeixen dos tipus bàsics de pèrdues mecàniques:

- *Fricció pròpies*
- *Fricció amb l'aire*

Les pèrdues per fregament pròpies són les degudes per fricció dels rodaments de la màquina, mentre que les pèrdues per fregament amb l'aire són degudes per la fricció entre les parts

mòbils del motor i l'aire comprés dins l'estructura esmentada. Les pèrdues per fregament i fricció són directament proporcionals a la velocitat, mentre que les pèrdues per ventilació es consideren que varien al cub de la velocitat de rotació del motor.

- **Pèrdues disperses**

Les pèrdues disperses són aquelles que no es poden classificar en alguna de les categories indicades anteriorment.

6. Ús del motor elèctric dins l'automoció

6.1. Tipus de motors de cc en l'automoció

En el sector de l'automoció existeixen infinitat de motors elèctrics per diferents finalitats. A continuació es descriuen els diferents tipus de motor elèctrics de corrent continu per les diferents funcions que l'empresa dissenya i fabrica.

6.1.1. Motors per Sistemes de frenat

6.1.1.1. ESP/ABS MOTOR



- Són motors amb un disseny de 4 pols amb dues o quatre escombretes.
- Tenen una vida útil fins a 800 hores.

6.1.1.2. Motors per la bomba elèctrica en el buit (motors EVP)



- Aplicacions en vehicles híbrids i elèctrics.
- Són motors amb un disseny de 4 pols amb dues o quatre escombretes.
- Durada de la resistència fins a 1.200 hores.

6.1.2. Motors per elements de tancament

6.1.2.1. Motors pel sostre solar



- Una nova generació de motors intel·ligents amb la funció anti-serratge que ofereix un disseny flexible per satisfer les necessitats del client a tot el món.
- Concepte modular.
- Embalatge compacte.

6.1.2.2. Motors pel tancament de portes



- Motor pel moviment de la porta del darrere o maleters.
- Millora de segellat contra la penetració de pols.

6.1.2.3. Motor alçavidres



- El motor intel·ligent que proporciona una major seguretat dels passatgers a causa d'una funció anti-serratge autoajustable.
- Embalatge compacte i disseny personalitzat.
- El muntatge vertical redueix el temps de fabricació i el cost.
- Carcassa de plàstic per reduir pes.

6.1.3. Motors per l'ajustament de seients



- Motors reductors per l'ajust de reclinació del seients.
- Actuadors lineals per regular l'alçada i la inclinació.

6.1.4. Motor per al flux d'aire



- Pes optimitzat (500W = aprox. 1,8 kg).
- Eficiència de fins al 75%.

Aquest tipus de motor elèctric, emprat per la refrigeració del motor de combustió, és sobre el que es realitzarà l'optimització mitjançant la reducció de coure en el col·lector.

6.2. Sistema de refrigeració per aigua

En l'interior del motor d'un automòbil, durant el seu funcionament, les temperatures assolides en l'interior dels cilindres és molt elevada, superant els 2000 graus centígrads en el moment de la combustió. Encara que aquesta temperatura assolida és instantània, la temperatura baixa durant l'expansió i l'escapament. Tot i això, la temperatura mitja és molt elevada i, si no es disposa d'un bon sistema de refrigeració per evacuar gran part del calor produït en l'explosió, la dilatació dels materials seria tan gran que produiria en ells gripatges i deformacions.

Per tant, el sistema de refrigeració tindrà que evacuar el calor produït durant la combustió fins a uns límits on s'obtingui el màxim rendiment del motor, però que no perjudiqui la resistència mecànica de les peces ni el poder lubricant dels olis.

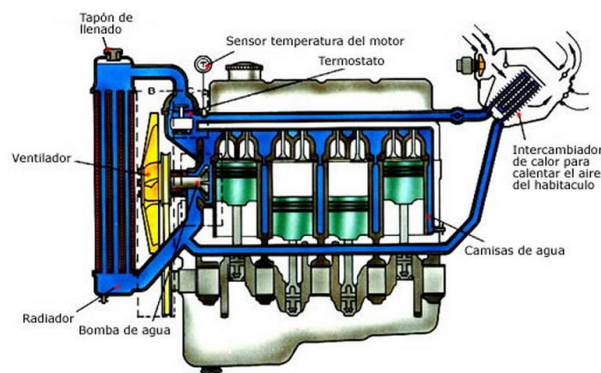


Figura 39. Esquema de refrigeració per bomba d'aigua

Aquest sistema consisteix en un circuit d'aigua, en contacte directe amb les parets de les camises i cambres de combustió del motor, que absorbeix el calor irradiat i el transporta a un dipòsit refrigerant on el líquid es refreda i torna al circuit per complir novament la seva funció de refrigerant.

6.3. Elements que componen el circuit de refrigeració

El circuit de refrigeració dels motors està format principalment per:

- **Radiador**

Serveix per refredar el líquid de refrigeració. El líquid de l'interior del radiador es refreda mitjançant l'aire que xoca contra la seva superfície metàl·lica.

- **Bomba d'aigua**

La bomba d'aigua s'intercala en el circuit de refrigeració del motor. Té com a objectiu fer circular l'aigua del circuit de refrigeració perquè el transport i l'evacuació del calor sigui més ràpid.

- **Termòstat**

El termòstat s'utilitza per mantenir la temperatura de funcionament del motor entre uns límits establerts.

- **Ventilador**

El ventilador serveix per impulsar l'aire a través del radiador per obtenir una major i eficaç refrigeració, sobretot a velocitats baixes .

El ventilador, a més de forçar el pas del aire a través del radiador per obtenir una refrigeració més eficaç, també subministra una corrent d'aire al motor per refrigerar els elements externs, com ara: l'alternador, bugies, col·lectors d'escapament, etc.

Existeixen dues configuracions bàsiques, que depenen de la posició que ocupen respecte el radiador:

- **Bufant:** el grup motor ventilador està situat davant del radiador, és a dir, el ventilador bufa l'aire cap el radiador.
- **Aspirants:** el grup motor ventilador està situat entre el radiador i el motor tèrmic, per tant, el ventilador aspira l'aire a través del radiador.

7. Planificació Avançada de la Qualitat del Producte APQP

La Planificació Avançada de la Qualitat del Producte (APQP) és una metodologia on la cadena de subministrament (proveïdors) participa amb el client del producte. L'APQP assegura que el disseny i procés no tan sols compleixi amb les expectatives futures dels clients sinó que també permet la participació en la cadena de subministrament i la interacció de grups per discutir la millor manera d'assolir un disseny i procés sense fallades, incrementant la productivitat i mantenint la qualitat desitjada pels clients.

7.1. Fases de la vida d'un projecte

7.1.1. Fase 1: Selecció dels proveïdors

Els proveïdors potencials donen una sèrie d'especificacions funcionals (proveïdor-dissenyadors) o especificacions tècniques (proveïdor-fabricant).

En aquesta etapa, els requisits són en relació amb:

- Especificacions de productes
- Costos de destinació
- La qualitat i la logística

Són definits o actualitzats.

Plànols i especificacions de productes

- Els proveïdors hauran de revisar els plànols, especificacions i controls.

Sol·licitud de cotització

- En respondre a la sol·licitud de cotització (RFQ), el proveïdor haurà de presentar la sol·licitud de pressupost signat amb un desglossament detallat dels costos.

Reunió abans d'atorgar del producte a un proveïdor

- Abans de l'adjudicació de nous projectes, els proveïdors han de realitzar una reunió amb els membres dedicats al nou projecte per discutir el disseny, les expectatives de qualitat, plànols i especificacions de les peces.
- Aquesta reunió es durà a terme per assegurar que els representants de proveïdors i membres de l'equip poden compartir i resoldre problemes de fabricació / disseny abans del PPAP.

Full de selecció de proveïdor (intern)

- S'omple i es signa el full de selecció de proveïdors.

7.1.2. Fase 2: Validació del disseny

Els requisits són elaborats i discutits pel client i el proveïdor durant aquesta etapa. El final d'aquesta etapa acaba amb l'aprovació de l'Expedient APQP del proveïdor.

Llançament de l'Arxiu APQP

- S'inicia l'arxiu APQP i s'envia al proveïdor per la seva aprovació.

Revisió tècnica

- Els proveïdors es reuniran amb els membres de l'equip dedicats a revisar el disseny i la qualitat de les expectatives. És especialment important que els mètodes de mesurament siguin revisats i acordats entre ambdues parts.

Objectius i riscos

- Es tracta d'una avaluació sobre les dates clau del projecte, el risc i el compromís de qualitat.

Estudi de viabilitat i el compromís

- Amb això es completa la confirmació de la viabilitat de la petició d'oferta.

Anàlisi de capacitat

- Estudi sobre la capacitat del proveïdor per complir la capacitat prevista.

Construcció i validació de prototips

- Per a la fabricació de prototips o peces pre-producció, els proveïdors hauran d'imitar el seu procés de producció previst tant fidelment com sigui possible. Si els proveïdors de prototips i peces de sèrie són diferents, el proveïdor de les peces prototip haurà de compartir amb el proveïdor de la producció en sèrie el coneixement dels processos reunits a fabricació de prototips.
- S'informarà al proveïdor sobre la quantitat a lliurar.
- Una vegada que un proveïdor comença a entregar peces, dins el marc del desenvolupament del procés i la fase de validació, qualsevol canvi en el procés requereix notificació al client. Aquests canvis poden incloure sub-proveïdors, addició / supressió dels béns d'equip, eines i / o mesuradors, fabricació metodologia.
- Les peces prototips hauran d'anar acompanyades d'un informe d'inspecció complet (certificat de materials, metrologia, elèctrica ...)

Contracte i ressenya acord

- Contracte de Subministrament
- Acord d'Assegurament de la Qualitat
- Contracte d'Eines
- Protocol de consignació contracte i / o logística

Congelació de disseny

- Els plànols prototip o pre-sèrie es converteixen en plànols de sèrie

L'acceptació de l'arxiu APQP

- El proveïdor signa la portada del APQP per aprovar el contingut necessari i les prestacions de la fase 2 (Objectius i riscos, estudis de viabilitat i el compromís, l'anàlisi de la capacitat).

7.1.3. Fase 3: Procés de disseny i desenvolupament dels proveïdors

Aquesta fase representa el temps durant el qual el proveïdor completa els seus dissenys per a la mecanització d'eines, muntatge línies / cèl·lules, mesurant i identificant el capital addicional que requereix per fabricar la peça o component.

La proveïdor ha de recollir les dades necessàries per garantir que els productes fabricats compleixen plànols, especificacions, i requisits de capacitat abans de la seva aprovació.

Durant aquesta fase, el proveïdor haurà de:

- Notificar tots els riscos que puguin afectar la integritat dels productes o el pla del projecte.
- Posar en pràctica tècniques (control 100% o Poka-yoke) sempre que existeixi un possible tipus de falla per aconseguir zero defectes.
- Identificar els canvis necessaris per satisfer les especificacions del producte o procés.

Calibre/ Revisar / eines / equips

- El proveïdor ha de revisar la disponibilitat d'indicadors, utilitatges i equips i informar sobre aquelles qüestions que puguin afectar els terminis i la qualitat de la peça.

Definir embalatge

- L'embalatge haurà de ser definit pel proveïdor en la part 9 de l'arxiu APQP i validada.
- L'embalatge ha de ser definit d'acord amb l'última edició del Manual de logística per als proveïdors.

Maquinària llesta per la producció en sèrie

- Aquesta fase acaba quan el proveïdor posseeix ja l'equipament de sèrie, és a dir l'eina, béns d'equip, equips de muntatge i / o calibratge, i és lliurada a les instal·lacions del proveïdor.

7.1.4. Fase 4: Validació del producte i procés del proveïdor

Primera fabricació de peces fora de procés

- El proveïdor ha de realitzar una validació interna del producte i el procés a través d'una producció de lots representant.

Prova de validació completa

- El client defineix quines proves són necessàries.
- El proveïdor haurà de lliurar les peces d'acord a la demanda del client que han de ser representatives del procés en sèrie amb un informe de mesurament complet de 5 peces com a mínim (per cavitat).

Aprovar sub-proveïdors PPAP

- El proveïdor és responsable de revisar i aprovar els paquets PPAP dels seus proveïdors.
- Una còpia d'aquests documents, pot ser necessària pel PPAP.

Realitzar auditoria de producció

- L'objectiu d'aquesta auditoria és validar el flux de procés, la qualitat i la capacitat dels requisits establerts.
- Es tracta d'auditar una producció sencera per comprovar si la capacitat dels cicles és adequada, i si es compleixen les expectatives de qualitat i rendiment. Aquesta auditoria

ha d'auditar una producció significativa i serà de vuit hores de producció, i amb una quantitat de producció com a mínim de 300 parts consecutives, llevat que s'especifiqui el contrari pel SQA.

- La puntuació de l'auditoria avalua l'estat de preparació del procés del proveïdor. Vegi's la taula a continuació:

Score	Process release	Explanations		
86%-100%	YES *	Excellent process	continued according audit plan	continuously improvement
71%-85%	YES *	Satisfactory	re-audit within 24 months	send action plan within 2 weeks after audit report date
51%-70%	NO	Instable process / needs improvement	re-audit within 6 months	send action plan within 1 week after audit report date
26%-50%	NO	deficient secured / needs immediately improvement	re-audit within 3 months	send action plan within 1 week after audit report date
0%-25%	NO	No reliability guaranteed	disqualify	start re-qualification
* Process will be not released in case of 1 major non-conformity Note1: The minimum target level is 71%. Note2: For major non-conformities, interim action has to be implemented within 1 week after audit date				

Figura 40. Taula de Puntuació per auditoria

Enviar PPAP

- El proveïdor presentarà el paquet PPAP.

Aprovació PPAP

- L'enginyer de Producte és responsable de l'aprovació del PPAP.

7.1.5. Fase 5: Gestió PQA (Assegurament de Qualitat del Producte)

Una vegada que s'han acceptat les mostres inicials, els lliuraments estan subjectes a una inspecció inicial en un període de prova.

L'empresa comprova que el producte estigui fabricat d'acord amb els documents APQP i que les peces no presenten cap disconformitat.

Si es produeix un incident, la peça serà sotmesa a un nou període de prova després d'un pla d'acció apropiat.

Pla d'Inspecció entrant

- L'enginyer de Producte defineix el pla d'inspecció inicial.

Informe setmanal

- Quan es demani, el proveïdor haurà d'enviar durant 3 mesos un informe setmanal de mesurament intern de la peça.

Tancar arxiu APQP

- L'arxiu APQP està tancat i signat.

Validar PQA

- El PQA és una part que no està subjecte a control inicial i la conformitat està garantida pel proveïdor.
- Abans de poder començar amb lliuraments PQA, no s'ha esdevingut cap incident amb les peces entregades durant el període de prova i s'han d'haver assolit els objectius de qualitat.
- Si s'han complert totes les condicions anteriors, es dóna al proveïdor la data en què els lliuraments PQA poden començar.
- Tots els lliuraments PQA han de ser identificats per una etiqueta PQA en totes les caixes, contenidors, etc.
- El proveïdor ha d'estar en condicions d'informar a l'empresa dels resultats de les inspeccions dutes a terme per cada lot lliurat, amb els requisits del pla de control de proveïdors.

8. Descripció de la modificació en el conjunt motor

La modificació consisteix en reduir en 0,2mm d'espessor de coure el diàmetre del col·lector d'un motor elèctric de corrent continu amb escombretes d'excitació independent, és a dir, l'excitació del induït es realitza mitjançant imants permanents. La reducció s'efectuarà sense modificar el diàmetre exterior, ja que reduint el diàmetre exterior, el radi que tenen les escombretes en l'extrem que estan amb contacte amb el col·lector no encaixarien bé i es produiria soroll.

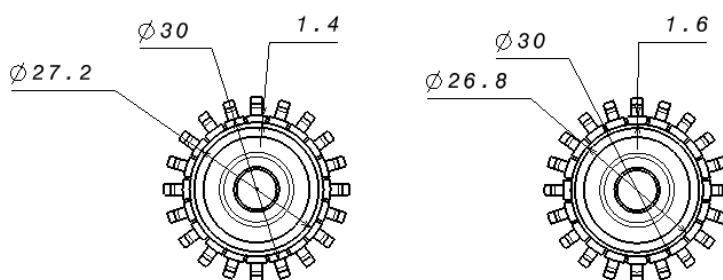


Figura 41. Modificació de la reducció de coure en el col·lector. A la figura de l'esquerra es pot veure el disseny del col·lector amb la modificació realitzada i a la dreta com era abans de la reducció de coure

Amb la finalitat de que la diferència de potencial entre les delgues no sigui tan alta que pugui produir guspises en el col·lector, es procura que el nombre de delgues sigui relativament alt. Les delgues són de coure endurit a les que se li dóna la forma adequada per poder ser muntada en l'eix del motor. Cada delga en la seva part inferior té forma de ganxo, que serveix perquè hi hagi contacte amb el fil de cada bobina corresponent, per mantenir un bon contacte elèctric.

Per evitar que les delgues puguin sortir del col·lector degut a la força centrípeta a la que estan sotmeses, es construeixen en forma de cua de Milano.

Vegi's l'annex 1 on s'adjunta el plànol del col·lector després de la modificació, i l'annex 2 on s'adjunta el procés seqüencial de la fabricació del col·lector.

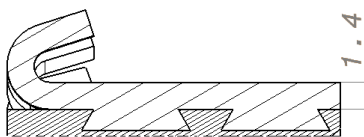


Figura 42. Detall de la secció de la delga

9. Paràmetres que afecten en la reducció de coure en el col·lector: AMFE

L'AMFE (Anàlisi Modal de Fallada i Efectes) és una tècnica analítica per assegurar que s'han considerat i estudiat cadascuna de les potencials fallades d'un disseny o procés, i identificar les accions a prendre per prevenir o detectar defectes o problemes potencials.

L'AMFE es basa en la valoració de fallida segons tres criteris:

- Freqüència: probabilitat d'ocurrència o presentació de la fallada.
- Gravetat: importància (repercussió i perjudicis) que tindria la fallada, segons la percepció del client.
- Detecció: Probabilitat de que la fallada no sigui detectada abans de que el producte arribi al client (o la següent fase el procés).

9.1. Avantatges i beneficis que comporta l'ús del AMFE

- Reducció considerable del temps de llançament i del cost, al no produir-se fallades, no ser necessaris redissenys i modificacions, i eliminar gran part dels assajos i proves necessàries.
- Millora continua de la qualitat, aprofitant el potencial humà, la recopilació metòdica d'informació, la possibilitat de participació del personal, tenint en compte que, mitjançant l'AMFE, s'obté una visió global del procés.
- Augmentar la fiabilitat dels productes i serveis i, en conseqüència, aconseguir satisfer al client.

9.2. Tipus d'AMFE

AMFE DE DISSENY

El seu objectiu és la investigació preventiva del disseny de productes o serveis determinats, incloent components, sistemes, etc.

Mitjançant l'eina AMFE, es pretén destacar, en les fases inicials del procés de disseny, qualsevol problema que pugui afectar al resultat final del producte, les seves repercussions en el client, així com els problemes que poden sorgir en la fase de fabricació o aplicació.

L'AMFE de disseny s'ha d'aplicar sobre la peça i també sobre tot el conjunt, analitzant els diferents sistemes, components que poden ser afectats, amb l'objectiu de garantir:

- El correcte funcionament de tots els elements.
- La possibilitat de fabricar-lo conforme especificacions sense fallades.
- Que el producte final sigui capaç d'aconseguir les prestacions requerides.

AMFE DE PROCES

Aquest tipus va aplicat i dirigit l'anàlisi de tipus de fallades potencials i els seus efectes durant el procés seguit per obtenir els productes o servei.

En aquest AMFE, s'inclou l'anàlisi dels mitjans de producció utilitzats per assegurar el bon funcionament del procés, i en conseqüència, aconseguir que el producte final obtingut sigui fiable.

- AMFE de Disseny en la reducció de coure en el col·lector

Funció	Mode potencial de fallada	Efecte del mode de fallada	C	S	Potencial arrel de mode de fallada	O	Control	D	RPN	Accions			Nou RPN després d'implementar l'acció			
										Accions per reduir RPN	Responsable	Acció realitzada	S	O	D	RPN
COLECTOR																
Subjecció o connexió de les bobines durant el procés de bobinat	El fil no connecta correctament en el col·lector	Característiques disminuïdes Disminució de la vida		5	Defecte en ganxos del col·lector: dimensions errònies	3	Sobretensió i/o rotor bloquejat Assaig de vida Marxa de prova en la línia d'induits	1	15							
				5	Material no conforme mecànicament	5	Normativa interna sobre especificacions del col·lector	1	25							
Assegurar un bon contacte elèctric amb les escombretes	Contacte irregular	Soroll Vibracions Característiques disminuïdes Disminució de la vida	Mpto	6	Salt entre delgues per material defectuós, rugositat incorrecte o espessor de la delga incorrecte	3	Especificació en plànols. Criticitat. Normativa interna sobre especificacions del col·lector	1	18							
			Mpto	6	Superfície incorrecta. Col·lector ovalat	3	Assaig sobretensió i/o rotor bloquejat Normativa interna sobre especificacions del col·lector	1	18							
	Falta de contacte per desgast de la delga	Disminució de vida	Mpto	6	Espessor de la delga massa fi	3	Assaig de vida	1	18							

Les funcions del col·lector, que es podrien veure afectades per la reducció de l'espessor del coure en les delgues, són subjectar i enganxar el bobinat i assegurar un bon contacte elèctric amb les escombretes.

Això comportaria que el fil, durant el bobinat, no enganxés correctament en el ganxo de la delga, produint una disminució de les seves característiques i disminució de la seva vida. Aquesta pèrdua de funció del col·lector seria a causa d'algun defecte en el ganxo del col·lector, com ara dimensions fora de plànol, propietats elèctriques diferents, i propietats mecàniques disminuïdes a causa de la reducció de material. El control a realitzar perquè aquesta pèrdua de funció del col·lector no s'esdevingui, serà:

- Un assaig de sobretensió i/o rotor bloquejat i un assaig de vida per comprovar que les seves propietats elèctriques no es veuen afectades.
- Per comprovar que no existeix cap defecte en el ganxo, i que les dimensions estan d'acord amb el plànol, s'haurà de realitzar un control dimensional de les peces i un test de prova en la línia de muntatge d'induits.
- Per comprovar les seves propietats mecàniques, es realitzarà un seguit de proves especificades en la norma interna, explicades en l'apartat de test, i proves realitzades per a l'homologació d'aquesta modificació.

En aquest cas el nombre de RPN, que és la multiplicació del coeficient de Severitat (S), que ens mostra la importància que tindria la fallada segons la percepció del client; el coeficient d'Ocurrencia (O), és la probabilitat de presentació de la fallada i el coeficient de no Detecció (D), que ens indica la probabilitat de que la fallada no sigui detectada abans que el producte arribi al client o passi a la següent fase. Aquest valor mentre és més petit o igual a 36, no és necessari realitzar cap acció, mentre que quan és superior cal plantejar un pla d'acció a realitzar per reduir aquest valor.

En l'AMFE de disseny, cap valor de RPN assoleix o supera el valor de 36, per tant no és necessari realitzar cap pla d'accions.

• AMFE de Producte

Funció	Mode potencial de fallada	Efecte del mode de fallada	C	S	Potencial arrel de mode de fallada	O	Control	D	RPN	Accions			Nou RPN després d'implementar l'acció		
										Accions per reduir RPN	Responsable	Acció realitzada	S	O	D
Assegurar un bon contacte elèctric amb les escombretes	Desgast excessiu de les delgues del col·lector	Soroll i vibracions Característiques disminuïdes Disminució de la vida		5	Espessor de la delga massa fi	2	Assaig de vida	5	50	Fer una assaig de vida					

• AMFE de Procés

Funció	Mode potencial de fallada	Efecte de l mode de fallada	C	S	Potencial arrel de mode de fallada	O	Control	D	RPN	Acció			Nou RPN després d'implementar l'acció		
										Acció per reduir RPN	Responsable	Acció realitzada	S	O	D
Fase 40 Bobinat del induït	Falta una connexió	Induït defectuós		5	El fil s'escapa del tub de retenció perquè el tub no arriba al final del ganxo degut a un canvi de geometria en la delga del col·lector	6	Control paràmetres elèctrics + possible fallada en les bobinadores	1	30			Modificar geometria del tub de retenció afegint un xamfrà interior de 12º per evitar interferència amb el ganxo			

El més important a tenir en compte en aquesta modificació/optimització del conjunt motor és la seva possible fabricació i introducció en la línia de muntatge sense cap tipus de parada imprevista.

Primerament, la seva possible fabricació, és a dir que les delgues del col·lector han de presentar les mateixes propietats mecàniques que sense aplicar-li la reducció de coure.

En l'Annex 3 es poden consultar els valors que adopten els coeficients en funció dels criteris finals del client.

10. Assajos realitzats: DVP&R

DVP&R (Design Verification Plan and Report) és un pas essencial en el desenvolupament de qualsevol producte. També conegut com a proves de qualificació, DVP&R assegura que el producte tal com va ser dissenyat és el mateix que el producte final.

Les activitats del projecte en què el DVP&R és útil:

- Concepte fins al disseny detallat
- Especificació del Desenvolupament
- Disseny detallat a través de Pre-Producció
- Producció

Les proves poden ocórrer en molts punts durant el procés de disseny, des del desenvolupament del concepte fins la post-producció. Aquesta eina es centrarà principalment en les proves de prototip però moltes de les directrius que es proporcionaran es poden aplicar a totes les proves.

10.1. Tipus de proves a realitzar en un DVP&R

- **Proves de desenvolupament** dutes a terme amb els materials, models o subconjunts. Són útils per determinar la viabilitat de les idees del disseny i l'obtenció de coneixements que encara dirigeixen el disseny. Els resultats d'aquestes proves no es poden considerar proves de verificació però, el seu ús pot ser crucial.
- **Proves amb prototips** es produeixen amb els elements que s'assemblen molt al producte final. Aquestes proves generalment emfatitzen el producte fins i més enllà de les condicions d'ús especificades i poden ser destructius. Les proves poden ocórrer a molts nivells. Generalment, com més complex sigui el producte, més nivells de proves. Per a un sistema complex, les proves es poden dur a terme a nivell d'unitat, nivell de subsistema, finalment, a nivell del sistema. Les proves amb prototips permet la correcció de les deficiències i posteriors re-proves abans dels grans compromisos que es fan per inventari i disponibilitat de la producció.
- **Test de resistència** és un altre tipus de proves de verificació del disseny que empra prototips. En lloc de provar amb les especificacions, les proves de resistència estan dissenyades per avaluar el producte al fracàs. Per exemple, si una taula està dissenyada per suportar una certa quantitat de pes, el test de resistència s'utilitza per assegurar que la taula pot suportar el pes especificat més un factor de seguretat per defecte. En aquest test de resistència es continuaria carregant la taula fins que arribi al fracàs, probablement més enllà dels límits especificats. Aquestes proves sovint s'utilitzen per determinar si pot ocórrer eventuais falles. Aquesta informació pot ser útil per identificar els problemes de garantia i costos potencials.
- **Les proves d'acceptació** és una forma d'assaig no destructiu que es produeix amb les unitats de producció. Depenent de la criticitat dels errors, costos dels assajos i el nombre d'unitats produïdes, les proves es poden dur a terme en unitats de producció inicials i / o mostres a l'atzar o especificada (per exemple, cada unitat 10a), o cada unitat produïda.

10.2. Mètodes de verificació

Hi ha un nombre de mètodes que es poden utilitzar en les proves de verificació. Alguns són relativament barats i ràpids, com ara la inspecció, mentre que altres poden ser costós i complicat, com les proves funcionals.

- **Demostració.** Les demostracions es poden dur a terme en entorns reals o simulats. Per exemple, si una especificació per a un producte requereix que sigui operable amb una mà, probablement el mètode més simple de verificar aquest requisit és tenir algú en realitat utilitzant el producte amb una mà. Com registre de la prova, pot ser acceptable que simplement la prova de testimonis o, alternativament, gravada en vídeo. El cost d'una demostració variarà en funció de la complexitat de la demostració, però la majoria són relativament barats.

- **Inspecció.** La inspecció general s'utilitza per verificar els requisits relacionats amb les característiques físiques. Per exemple, si una especificació requereix que el producte sigui d'un color determinat, una certa alçada o etiquetats d'una manera específica, la inspecció es pot utilitzar per confirmar que s'han complert els requisits. La inspecció és, habitualment, un dels mètodes de verificació menys costosos.
- **Anàlisi.** Típicament, l'anàlisi s'utilitza sovint en el disseny d'un producte. També es pot utilitzar per verificar el disseny i és sovint el mètode preferit si la prova no és factible o el cost de la prova és prohibitiu, i el risc és mínim. Per exemple, l'anàlisi pot ser utilitzat per donar suport l'argument que el producte tindrà una vida útil de 25 anys.
- **Similitud.** Si un disseny inclou característiques o materials que són similars als d'un altre producte que ha assolit o superat les especificacions actuals, un anàlisi de similitud pot ser utilitzat per verificar un requisit. Per exemple, si una especificació requereix que un producte sigui resistent a l'aigua i els materials utilitzats s'han demostrat en altres aplicacions ser resistents a l'aigua, una anàlisi de similitud podria ser utilitzat.
- **Proves.** La prova pot ser un dels mètodes de verificació més cars, depenent de la complexitat, així com els requisits d'equip i les instal·lacions. No obstant això, de vegades és l'únic mitjà acceptable per a la verificació dels molts aspectes d'un disseny.

10.3. DVP&R: Reducció de coure en el col·lector

Tipus de test	Procediment del test	Responsable de l'assaig	Criteri a seguir	Mostres assajades		OK	NOK
				Quant.	Tipus	Resultat del test	
Salt entre delgues	Normativa interna	Planta	Comparativa amb peces sèrie	30	IS	X	
Resistència mecànica extracció de la delga	Normativa interna	Proveïdor	100% conforme	10+5	IS	X	
Punts de funcionament	Especificació segons plànol	Planta	Comparativa amb peces sèrie	4+4	IS	X	
Sobretensió	Normativa client	Planta	Comparativa amb peces sèrie	2 + 2	IS	X	
Assaig de vida	Normativa client	Planta	Comparativa amb peces sèrie	4 + 2	IS	X	
Test de Producció	Normativa interna	Planta	100% conforme	1000	IS	X	

10.4. Assajos realitzats

10.4.1. Salt entre delgues

La característica de salt entre delgues està recollida dins una especificació tècnica interna que tracta sobre els requisits que han de complir els col·lectors. Aquesta normativa exigeix que el màxim salt de delgues esdevingui de $3\mu\text{m}$.

Es tracta doncs d'evitar el possible soroll i, conseqüentment, vibracions en el conjunt motor que provocaria un salt de delgues major de $3\mu\text{m}$. Aquest soroll i vibracions són degudes al mal contacte entre la part mòbil (col·lector) i la part fixa (escombretes) on les seves característiques de funcionament es veurien afectades amb una disminució de la vida de les escombretes (desgast excessiu), conseqüentment amb una disminució de la vida del motor.

El criteri d'acceptació d'aquest assaig és que passi la normativa al 100%.

A més a més de comprovar que els col·lectors amb la reducció de coure en el col·lector estan d'acord amb la normativa interna, més endavant també es realitzaran uns estudis de capacitat per conèixer els valors del Cp i Cpk, per comprovar la desviació del procés i mitjançant gràfics de control per delimitar l'estabilitat del procés.

El procediment per obtenir els valors de salt entre delgues consisteix en col·locar l'induït en un suport on el farà girar lentament sobre el seu eix mentre un làser d'alta precisió va mesurant la forma del perímetre del col·lector. Les dades que ens mostra per pantalla són les següents:

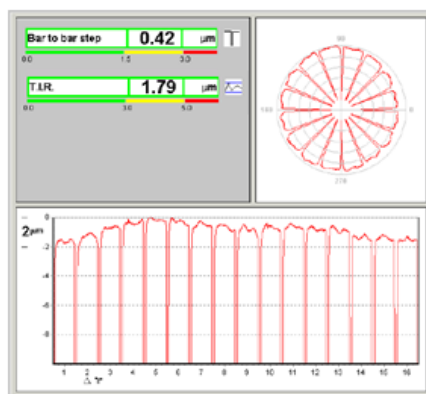


Figura 43. Imatge dels paràmetres que mostra el monitor que comprova el salt entre delgues.

On el primer valor és l'espai entre delgues i el segon el salt entre delgues.

S'han analitzat 30 mostres, on cap d'elles, després del tornejat, ha superat el valor de $3\mu\text{m}$, així doncs podem dir que el resultat d'aquest test és OK.

Vegi's l'Annex 4 per consultar els resultats obtinguts.

10.4.2. Resistència mecànica: Extracció de delga

Es tracta d'una normativa interna, que fa referència a la força d'extracció de les delgues. Aquesta ha de ser major a 20daN. Aquest assaig es realitza amb l'objectiu de comprovar que les delgues aguanten una força d'extracció major a la que suporten quan el motor estigui en funcionament degut a la força centrípeta del rotor.

El criteri d'acceptació d'aquest assaig és que sigui 100% conforme a la l'especificació de la normativa interna.

El resultat del test és OK, és a dir, els resultats obtinguts són 100% conforme a la normativa interna i en l'annex 5 es poden observar els resultats obtinguts.

10.4.3. Punt de funcionament

Comprovar que amb la reducció de coure en el col·lector no varien els punts de funcionament del conjunt motor. Els punts de funcionament estan d'acord amb les especificacions de cada conjunt motor dins els plànols del conjunt motor.

El criteri d'acceptació d'aquest assaig correspon a fer una comparativa amb la configuració que ja existeix en sèrie, amb una desviació acceptada del 3%.

En l'annex 6 estan els punts de funcionament i es pot comprovar que ni la velocitat, ni la intensitat ni el rendiment mostren una desviació superior al 3%. També es poden observar les corbes característiques dels motors on s'han extret els punts de funcionament.

10.4.4. Sobretenió

Aquesta prova especifica el procediment d'assaig de la immunitat dels dispositius a sobretenió positiva. Es realitzarà segons:

- Abans del test
 - Es mesurarà el punt de funcionament en el fre segons les especificacions del plànol del motor a 25°C
- Condicions del test:
 - Part 1: mostra 1 (reducció de coure en el col·lector) i mostra 3 (sèrie)
 - Pre-escalfar el motor a la seva temperatura màxima (85°C)
 - Aplicar un voltatge de 26V durant un minut
 - Part 2: mostra 2 (reducció de coure en el col·lector) i mostra 4 (sèrie)
 - Motor a temperatura ambiental (25°C)
 - Aplicar un voltatge de 23V durant un minut
- Després del test:
 - Mesurar el punt de funcionament en el fre d'acord amb les especificacions del plànol del conjunt motor.

En l'annex 7 es poden observar els resultats obtinguts dels punts de funcionament al fre abans i després de passar el test de sobretensió.

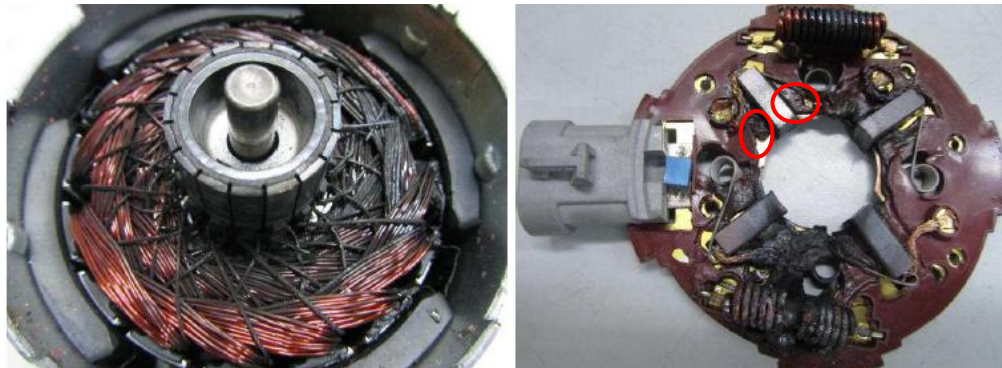


Figura 44. Aspecte del bobinat i de la placa porta escombretes de la mostra 1

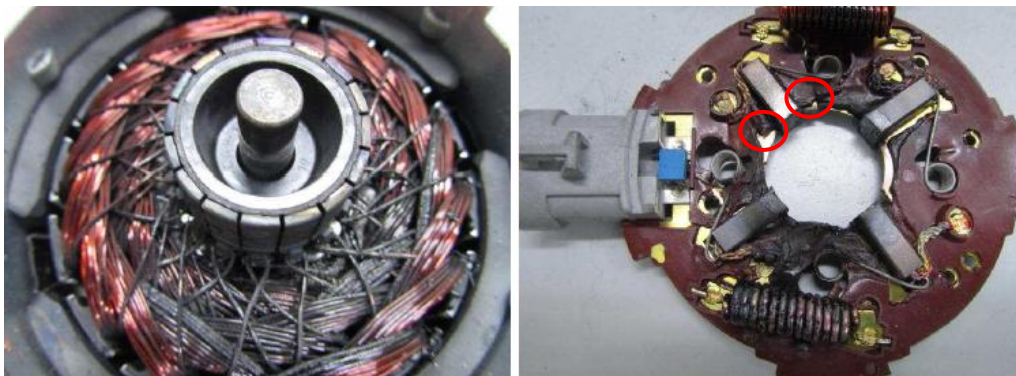


Figura 45. Figura 51. Aspecte del bobinat i de la placa porta escombretes de la mostra 3

En les figures anteriors es pot observar l'aspecte dels motors que han realitzat la part 1 del assaig de sobretensió. Aquest problema és degut a les altes temperatures registrades en la placa portaescombretes, provocant que el plàstic de la placa es fongui bloquejant les escombretes en els punts de màxima temperatura.

Les altes temperatures assolides en el col·lector, causen deformacions en les delgues i, conseqüentment, augmenten les pèrdues per contacte entre les escombretes i el col·lector, incrementant la degradació i l'escurçament de la vida de les escombretes.

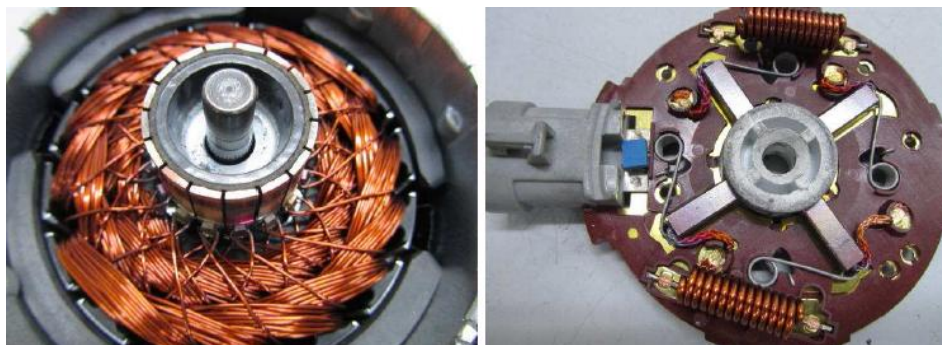


Figura 46. Aspecte del bobinat i de la placa porta escombretes de la mostra 3

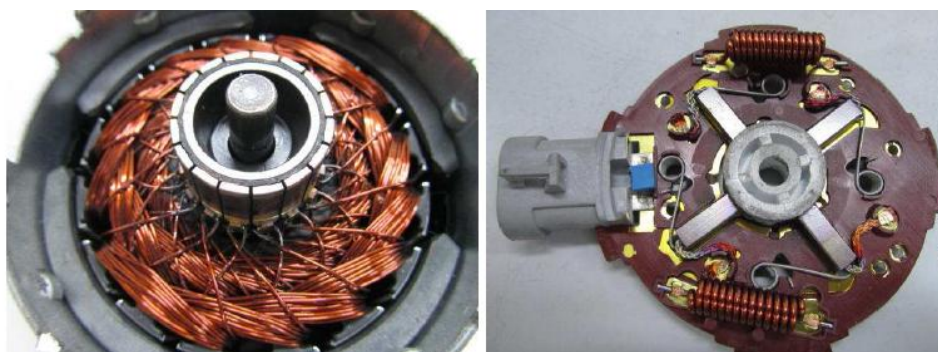


Figura 47 Aspecte del bobinat i de la placa porta escombretes de la mostra 3

Es pot observar el canvi d'aspecte i de punts de funcionament entre la primera part de l'assaig i la segona. Això es degut als forts pics d'intensitat que experimenten els motors a 26V, com es pot apreciar en l'annex 7, les gràfiques dels valors registrats durant l'assaig.

El criteri d'acceptació d'aquest assaig correspon a fer una comparativa amb la configuració que ja existeix en sèrie. La nova configuració ha de ser igual o millor que les parts en sèrie, tant en soroll, en el punt de funcionament i salt de delgues, així doncs, podem dir que, com cap dels dos motors passa l'assaig, i donarem un resultat OK, ja que no s'han detectat modificacions o alteracions respecte a la configuració en sèrie.

10.4.5. Assaig de vida

El propòsit d'aquest assaig és verificar el comportament del motor sota les condicions que es descriuen en la gràfica següent:

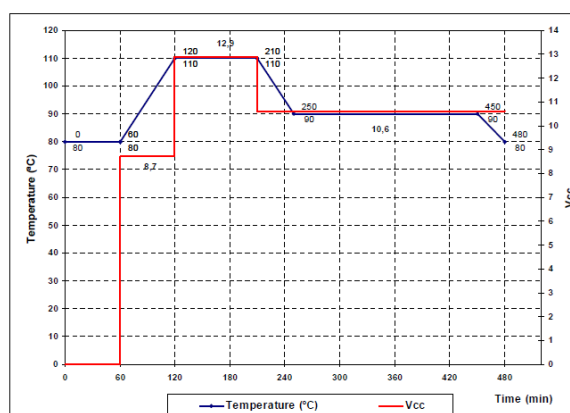


Figura 48. Esquema de Temperatura i Voltatge que s'ha de seguir a l'assaig

El criteri d'acceptació és el correcte funcionament del motor després de passar l'assaig de vida.

En aquest test els 4 motors assajats han passat correctament les 1200 hores d'assaig de vida. Després del test els motors són correctes. No hi ha cap soroll anormal, deformacions, esquerdes o aflluixament en els parts mòbils. Es poden comprovar els resultats obtinguts en l'annex 8.

10.4.6. Test de producció

El test de producció, és una prova o assaig d'alguna cosa nova i no provada per avaluar la seva eficàcia. Per poder avaluar aquesta prova, la peça en qüestió, ha de ser capaç de passar correctament tots els controls de la línia d'induits.

Tots els controls presents en la línia de muntatge són recollits en un document anomenat Pla de control.

10.4.6.1. Pla de control

El propòsit del pla de control, és el de procurar un resum documentat del sistema emprat per minimitzar la variació del producte i del procés.

Un pla de control descriu les accions requerides en cada fase del projecte, incloent la recepció de materials, la fabricació, l'emmagatzematge i enviaments, per assegurar que totes les sortides del procés siguin controlades. Durant la producció, els plans de control descriuen els controls realitzats en el procés productiu per controlar les seves característiques.

Els plans de control són mantinguts i emprats durant tot el cicle de vida. A l'inici de la vida del producte, el seu propòsit és documentar i comunicar el pla inicial de control del procés. Posteriorment, el propòsit és guiar la fabricació a controlar el procés productiu i assegurar la qualitat del producte. Finalment, el Pla de Control, reflexa els mètodes de control i mitjans utilitzats en el sistema de control del procés.

Els beneficis que aporta el seguiment d'un bon pla de control són:

- **Qualitat**

Redueix el rebuig i millora la qualitat dels productes durant el disseny, fabricació i muntatge. Els plans de control identifiquen les característiques dels processos i ajuden a identificar les seves fonts de variació que causen alteracions en les característiques del producte.

- **Satisfacció del client**

Els plans de control focalitzen els esforços i recursos sobre processos i productes relatius a les característiques que són importants per al client.

- **Comunicació**

Els plans de control són documents vius que identifiquen i comuniquen canvis en les característiques dels productes i processos, mètodes de control, i característiques dels sistemes de mesura.

10.4.6.2. Resposta Ràpida de Control de Qualitat (QRQC)

El QRQC (*Quick Response Quality Control*) consisteix en reunions periòdiques realitzades pels responsables del departament i del procés on es transcriuen sobre un panell les incidències detectades. QRQC serveix per donar una ràpida resposta a les fallades, ja que en el panell hi ha d'haver els problemes sorgits i les solucions acordades per resoldre'ls. A més, permet fer un seguiment del estat de la resolució al quedar exposada en un lloc públic i visible en el centre de treball.

Les reunions es celebren diàriament i involucren a qui tingui responsabilitat en les incidències i en les seves resolucions. El cap de qualitat també intervé com a facilitador per realitzar les preguntes correctes i impulsar la implantació de plans d'acció.

Parts del panell

En el panell han de figurar al menys, les següents solucions:

- Incidència detectada
- Departament o client afectat per la incidència
- Data
- Responsable
- Descripció del problema de manera que permeti identificar la causa
- Pla d'acció
- Nivell de prioritat
- Data límit per implantar la resolució

10.4.6.3. Pla de control línia d'induïts

PLA DE CONTROL

Flux del procés		Característiques		Mètodes			Avaluat per	Reacció a situació d'anomalia
Nº	Fase/operació	Paràmetre procés	Característica producte	Especificació	Tècnica d'avaluació	Freqüència de la mostra		
0	Control de recepció		- Dimensional peces - Assajos fundonals	Totes les referències i peces	Pautes de control	- 6 primeres entregues o - 6 entregues rere algun incident	Control qualitat recepció	Tractament de problemes qualitat recepció amb proveïdor
1	Preclavat eix paquet de platines		Comprovar referències del lot (platines i eix)	BOM	Visual (referències de l'etiqueta caixa i BOM es la mateixa)	Aprovació primeres peces (principi de torn i canvi de sèrie)	operari	Buidar la línia
		Paquet de platines invertit		Pautes de control	Automàtic POKA-YOKE	100%	Maquinària	Ompli fitxa d'incidència
		Control del eix invertit (i si es llis o amb ranura)		Pautes de control	Automàtic POKA-YOKE	100%	Maquinària	Ompli fitxa d'incidència
			Comprovar la cota de pre-clavat eix i paquet de platines	Pautes de control	Visual	Aprovació primeres peces (principi de torn i canvi de sèrie)	Operari	Ompli fitxa d'incidència

2	Assemblatge estrelles aïllants		Control correcte de referència estrelles	BOM	Visual (referències de l'etiqueta caixa i BOM es la mateixa)	Aprovació primeres peces (principi de torn i canvi de sèrie)	Operari	Canviar material
		Comprovar mida estrelles -		Pautes de control	Automàtic POKA-YOKE	100%	Maquinària	QRQC línia
		Comprovar presència d'estrella aïllant		Pautes de control	Automàtic POKA-YOKE	100%	Maquinària	QRQC línia
3	Assemblatge col·lector		Control correcte de referència col·lector	BOM	Visual (referències de l'etiqueta caixa i BOM es la mateixa)	Aprovació primeres peces (principi de torn i canvi de sèrie)	Operari	Canviar material
		Comprovar correcte angle de decalat		Pautes de control	Automàtic POKA-YOKE	100%	Maquinària	Manteniment
		Comprovar correcte altura del col·lector		Pautes de control	Automàtic POKA-YOKE	100%	Maquinària	Manteniment
4	Bobinat induït		Fil trencat	Pautes de control	Automàtic	100%	Maquinària	Verificar si la tensió a la que està sotmesa el fil de coure és major a l'indicat en la pauta de control Verificar que el carret no sigui defectuós; obrir QRQC proveïdor
		Comprovar tensió fil		Programa bobinadora	Detectors inductius de posició del braç	100%	Maquinària	Manteniment

5	Soldadura delgues del col·lector		Comprovació visual del aspecte de la soldadura: - Bon aspecte - Fil no tallat	Pautes de control	Visual (totes les delgues soldades i sense contacte entre elles)	Aprovació primeres peces (príncipi de torn i canvi de sèrie)	Operari	Ajustar maquinària QRQC línia
			Control automàtic de paràmetres elèctrics + esforç	Pautes de control	Autocontrol 100% paràmetres elèctrics (Tèster automàtic)	100%	Tèster	Manteniment
6	Control de les característiques elèctriques del induït		Comprovació correcte funcionament del tester	Correcte número de programa	Visual	Aprovació primeres peces (príncipi de torn i canvi de sèrie)	Operari	Carregar el programa correcte
			Control dels paràmetres elèctrics del tester: -Soldadura de les delgues (Rs) -Equivalència entre bobines (Rb) -Rigidesa dielèctrica (HV) -Resistència a 180°C (R180) -Prova de sobretensió	Pauta de control	Automàtic	100%	Maquinària	Obrir fitxa d'incidència qualitat
7	Compactació del induït	Cota reclavat eix paquet		Pauta de control	Calibre induït	Aprovació primeres peces (príncipi de torn i canvi de sèrie)	Operari	Revisar bobinadora i màquina de reclavat Obrir QRQC línia

8	Tornejat i neteja del col·lector		Comprovar aspecte visual	Pauta de control	Automàtic	Aprovació primeres peces (principi de torn i canvi de sèrie)	Operari	Obrir QRQC línia
			Comprovar paràmetres que afecten al acabat superficial del col·lector	Pautes de control	Automàtic	Aprovació primeres peces (principi de torn i canvi de sèrie)	Operari	Obrir QRQC línia
9	Equilibrat		Comprovar correcte equilibrat (10gxmm)	Pautes de control	Automàtic	100%	Maquinària	Manteniment
		Comprovar la correcte posició del paquet		Pauta de control	Automàtic	100%	Maquinària	Manteniment
10	Control de les característiques elèctriques del induït		Comprovació correcte funcionament del tester	Correcte numero de programa	Visual	Aprovació primeres peces (principi de torn i canvi de sèrie)	Operari	Carregar el programa correcte
			Control dels paràmetres elèctrics del tester: -Soldadura de les delgues (Rs) -Equivalència entre bobines (Rb) -Rigidesa dielèctrica (HV) -Resistència a 180°C (R180) -Prova de sobretensió	Pauta de control	Automàtic	100%	Maquinària	Obrir fitxa d'incidència qualitat

11	Embalatge	Comprovar la presència de caixes		Pauta control	Manual	100%	Operari	Obrir fitxa d'incidència qualitat
			Aprovació primeres peces	Pauta control	Automàtic	-principi de torn - canvi de sèrie -2 cops per setmana	Operari	Obrir fitxa d'incidència qualitat

10.4.6.4. Pautes de control

❖ Control del paquet de platines invertit

Objectiu: Assegurar el correcte posicionament del paquet de platines abans del clavat de l'eix.

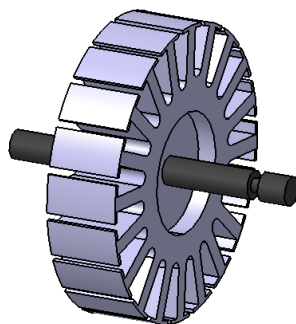


Figura 49. Correcte posicionament de l'eix i la platina

Control: Peça circular que determina la profunditat del paquet.

Situació OK: Es provoca la posició incorrecte del paquet de platines i els detectors actuen no deixant-lo passar a la següent fase.

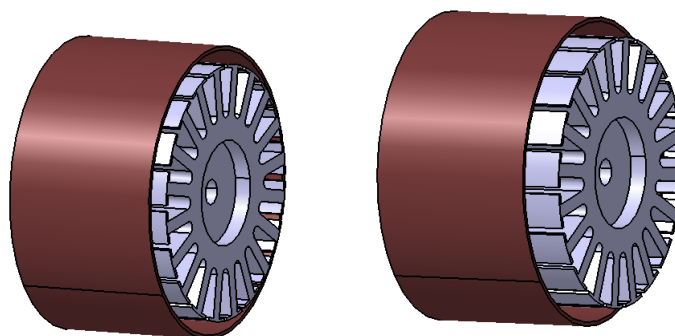


Figura 50. a) Correcte posicionament de la platina; b) posició incorrecte del paquet de platines

Situació NOK: provocant la posició incorrecte del paquet de platines, els detectors no ho detecten i deixa passar a la següent fase.

→ **Què fer en situació de NOK?**

Avisar a manteniment i obrir una QRQC de línia.

❖ Control eix amb ranura o eix llis/ eix invertit

Objectiu: Detectar si l'eix té o no té ranura i detectar eixos clavats a l'inrevés.

Control: A través de la càmera de visió es detecta el tipus d'eix clavat en el paquet. També es detecta si el eix està clavat a l'inrevés.

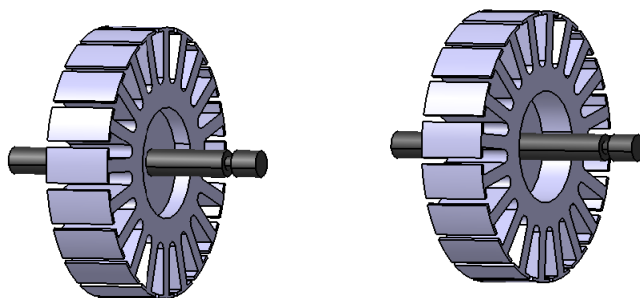


Figura 51. a) correcte posició del eix amb la platina; b) posició incorrecte del eix i la platina, ja que la punta del eix ha d'anar a la banda on hi ha menys buidat del centre del paquet

Situació OK:

Quan està seleccionat en la posició d'eix amb ranura, el sistema comprova:

- a) La presència de la ranura en l'eix
- b) Que l'eix no estigui clavat a l'inrevés

En ambdós casos, si el dona com OK, el palet s'allibera. Si l'eix no té ranura o està clavat a l'inrevés, la màquina s'atura i dona l'alarma de eix NOK encenent-se una llum vermella.

Quan està seleccionat en la posició d'eix llis, el sistema comprova:

- a) La no presència de ranura en l'eix
- b) Que l'eix no estigui clavat a l'inrevés

Si la peça és OK, el palet s'allibera. Si l'eix té ranura o està clavat a l'inrevés, la màquina s'atura i dona l'alarma de eix NOK encenent-se una llum vermella.

Aquest criteri d'acceptació de la màquina es fa mitjançant l'ús de patrons, és a dir, es tenen mostres amb els possibles errors que poden succeir i s'introdueixen a la màquina com a resultats dolents. Un cop introduïts, si la màquina detecta que alguna peça que s'està produint és igual que un patró introduït, la donarà com a dolenta.

Situació NOK: En el cas de que la càmera de visió no diferenciés entre:

- a) La presència i absència de ranura
- b) Eix clavat correcte i incorrectament

I els deixes passar a tots com a OK, o bé, a tots com a NOK.

→ **Què fer en situació de NOK?**

Avisar a manteniment en cas de fallada en el funcionament per un ajust del sistema i obrir una QRQC de línia.

❖ **Control del tipus d'estrella aïllant**

Objectiu: Assegurar el tipus d'estrella aïllant (petita o gran) en tots els induïts

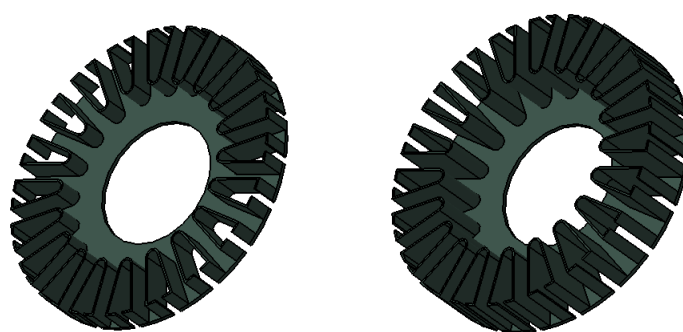


Figura 52. a) estrella de tomany petit, emprada en els motors de més baixa potència; b) estrella gran, emprada en els motors de més alta potència

Control: POKA-YOKE que verifica el tipus d'estrella mitjançant detectors.

Situació OK:

- **Fase situació OK:** El tipus d'estrella és el que correspon amb el programa seleccionat i l'induït passa a la següent fase.
- **Fase situació NOK:** quan el tipus d'estrella no correspon amb el programa seleccionat, la plantilla ens avisa del defecte.

Situació NOK: El POKA-YOKE no detecta l'estrella que no correspon al programa i la màquina no s'atura deixant passar l'induït a la següent fase.

→ **Què fer en situació de NOK?**

Aturar la línia, avisar a manteniment i obrir una QRQC de línia.

❖ Control de presència i absència d'estrelles aïllants

Objectiu: Assegurar la presència de les dues estrelles aïllants, una a cada costat del paquet de platines en tots els induïts.

Control: Control mitjançant un programa que mesura l'amplada del paquet.



Figura 53. Paquet de platines amb les seves dues estrelles aïllants,

Situació OK: Quan la mesura del paquet no correspon amb el programa seleccionat la màquina avisa del defecte i el palet no passa a la següent fase.

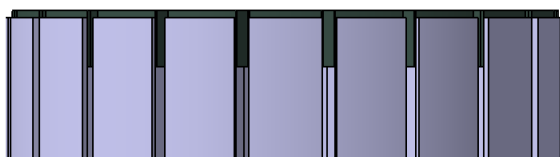


Figura 54. Paquet de platines amb absència d'una de les dues estrelles aïllants

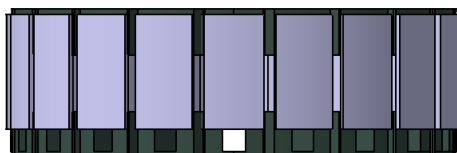


Figura 55. Paquet de platines amb les dues estrelles aïllant, una de les quals no està assentada correctament

Situació NOK: El control no detecta la absència d'estrella o que la mesura és NOK i el palet avança cap a la següent fase.

→ **Què fer en situació de NOK?**

Aturar la línia, avisar a manteniment i obrir una QRQC de línia.

❖ Control automàtic de l'altura del col·lector

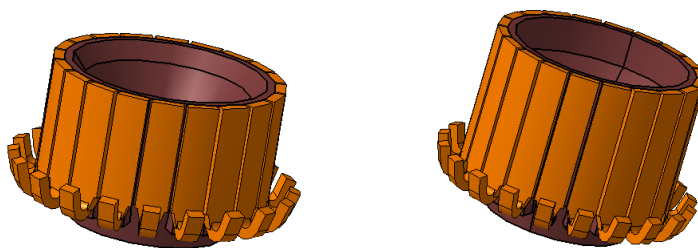


Figura 56. a) col·lector dissenyat com a curt; b) col·lector dissenyat com a llarg

Objectiu: Assegurar que l'induït porta el col·lector curt o llarg, segons programa i model.

Control: Es duu a terme mitjançant un programa detector de barrera.

Situació OK: Es provoca l'entrada d'un col·lector diferent al del programa i els detectors senyalen l'error en la pantalla i no deixant passar el col·lector a la següent fase.

En aquest control també es fan servir l'ús de patrons per introduir a la màquina uns valors de NO acceptació.

Situació NOK: La situació de NOK, seria al col·locar un col·lector patró diferent al del programa en curs de fabricació i aquest no el detectés com a dolent i el deixes passar a la següent fase.

→ **Què fer en situació de NOK?**

Aturar la línia, avisar a manteniment i obrir una QRQC de línia.

❖ Control del decalat del col·lector

Objectiu: Assegurar el decalat del col·lector que correspongui amb el del programa. En la màquina de control del decalat, es pot comprovar el decalat real del col·lector una vegada l'induït està acabat.

Control: 2 detectors inductius detecten la posició del col·lector entre: 0° / 10° .

Situació OK: La màquina s'atura si la posició del col·lector és diferent a la que demana el programa.

Situació NOK: La màquina no s'atura si canviem la posició del col·lector i aquesta és diferent a la posició introduïda a la màquina.

→ **Què fer en situació de NOK?**

Aturar la línia, avisar a manteniment i obrir una QRQC de línia.

❖ Soldadura automàtica del fil del bobinat a les delgues del col·lector

Objectiu: El procés de soldadura es controla amb el paràmetre de R_b que es mesura en els testers.

Control: Fases del procés de soldadura

Fase d'apropament: L'elèctrode i la massa s'apropen fins a tocat el ganxo i la base del col·lector. La màquina efectua una petita comprovació del correcte funcionament de la soldadura mitjançant l'aplicació d'una corrent de curtcircuit a través d'un voltatge entre 1 i 3V. Si la caiguda de tensió resultant és 0V, és signe de que el contacte és correcte, comença a aplicar una força progressiva de 0 a 200N, durant un temps T_a , per començar a doblegar el ganxo i preparar-la per la soldadura.

Fase 1: Aquesta fase té com objectiu netejar el vernís del fil per obtenir una adequada resistència de soldadura. Té una durada de 70ms, durant el qual s'aplica una potència d'escalfament 2800W i una força de pressió de 200N.

Fase 2: En aquesta fase es procedeix a realitzar la soldadura del ganxo de la delga amb el fil de la bobina. Aquest procés té una durada de 70ms, durant la qual s'aplica una potència d'escalfament de 3000W i una força de pressió de 350N.

Fase de cohesió: Aquesta fase té com a funció assegurar la cohesió de la soldadura del ganxo, i evitar un possible aixecament del ganxo després del procés. En aquesta fase no s'aplica potència, tan sols s'aplica una pressió amb una força 1000N durant 140ms.

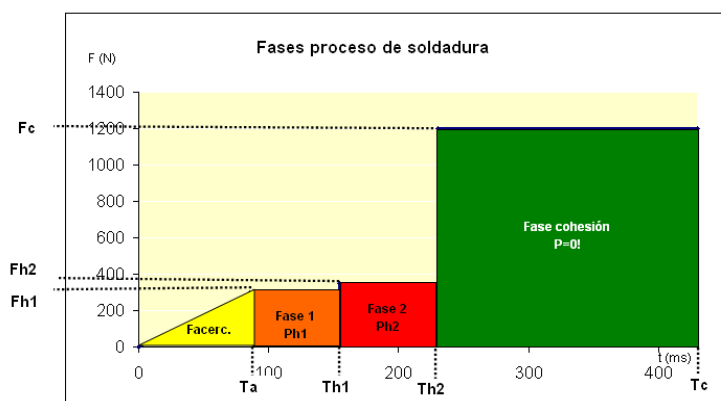


Figura 57. Fase del procés de soldadura

Situació OK: El tester detecta que els valors no són OK i els aparta a la rampa de rebuig.

Situació NOK: Al passar els patrons el tester els detecta com a bons i els deixa passar a la següent fase.

→ **Què fer en situació de NOK?**

Aturar la línia, avisar a manteniment i obrir una QRQC de línia.

❖ *Control de les característiques elèctriques de l'induït (tèster 1 i tèster 2)*

Objectiu: Que els induïts compleixin amb uns paràmetres elèctrics específics.

En aquesta fase del procés de producció dels induïts, es verifica la detecció de 6 defectes que per cada tipus de potencial fallada s'ha introduït anteriorment un patró per cada cas:

- Induït OK
- Detecció si l'induït té 2 espires de més
- Detecció si l'induït té 2 espires de menys
- Comunicació entre delgues
- Bobines comunicades
- Fil tallat
- Rigidesa dielèctrica

Control: El tester controla al 100%

- **RB:** Resistència de bobina fora dels paràmetres del patrons ens avisarà de:

Presència d'una bobina tallada o valor de la resistència fora de tolerància.

Comprovació de la resistència de bobines oposades.

Bobina en curtcircuit.

- **R180:** Mesura de resistència a 180

Serveix per assegurar que el diàmetre del fil és el correcte.

- **L:** Prova d'inductància

Per comprovar errors en el nombre d'espires.

- **RS:** Resistència de soldadura

Ens indica si el valor de la resistència és molt elevat o per altre banda si la soldadura existeix.

- Prova d'aïllament entre espires

Ens indicarà si existeix alguna espira en curtcircuit.

Error en el nombre de làmines del paquet de platines.

Diferència de característiques magnètiques del paquet respecte del patró.

- **HV:** Prova de aïllament entre bobinat y paquet

Poc aïllament entre el col·lector i el paquet de platines.

Situació OK: Per poder comprovar que el tèster funciona correctament, abans de cada canvi de sèrie, es passen els patrons. Si el tèster els detecta com a dolents i els deixa en la rampa de rebuig, significa que funciona correctament.

Situació NOK: Si un induït patró defectuós, el tèster el detecta com a bo.

→ **Què fer en situació de NOK?**

Aturar la línia, avisar a manteniment i obrir una QRQC de línia.

❖ **Control tornejat col·lector**

Objectiu: Assegurar que el col·lector ha sigut tornejat

Control: La càmera de visió artificial comprova que el col·lector estigui tornejat.

Situació OK: La càmera detecta els induïts patró (sense tornejar) i no els deixa passar a la següent fase.

Situació NOK: Provoquem el defecte en un induït patró sense tornejar i la càmera no el detecta deixant-lo passar a la següent fase.

→ **Què fer en situació de NOK?**

Aturar la línia, avisar a manteniment i obrir una QRQC de línia.

❖ **Comprovar paràmetres que afecten a l'acabat superficial del col·lector**

Objectiu: Assegurar que el col·lector compleix amb els paràmetres establerts de que afecten a l'acabat superficial.

Control: L'operari tindrà que dur a terme el següent control sobre aquest paràmetres:

- **Comprovar el salt entre delgues**

Consisteix en un control que s'efectua amb 3 mostres al començament de cada canvi sèrie més 3 mostres cada hora

- **Diàmetre del col·lector**

Es mesura amb un peu de rei i s'efectua al començament de cada canvi de sèrie, més 3 mostres cada hora.

- **Rugositat col·lector**

Es mesura amb un rugosímetre que s'efectua l'aprovació de primeres peces, i després 2 mostres al començament de cada canvi sèrie, més 2 mostres cada hora i 2 mostres més al canvi de torn.

- **Comprovar la longitud del tornejat**

Es mesura amb una eina passa/no passa i s'efectua al començament de cada canvi de sèrie més 3 mostres cada hora i 3 mostres més al canvi de torn.

Situació OK: Els paràmetres estan dins del rang permès i la màquina detecta els induïts que estan fora dels límits establerts.

Situació NOK: Provoquem el defecte en un induït patró sense tornejar i la màquina no el detecta donant-lo com a bo.

→ **Què fer en situació de NOK?**

Aturar la línia, avisar a manteniment i obrir una QRQC de línia.

❖ **Control d'equilibrat automàtic**

Objectiu: Assegurar un desequilibri màxim de 10gxmm.

Control: La màquina el fa girar a 1000 revolucions per minut i va traient material fins que s'aconsegueix el desequilibri màxim requerit.

Situació OK: L'equilibradora aconsegueix equilibrar els induïts.

Situació NOK: L'equilibradora no aconsegueix equilibrar els induïts, els separa per un equilibrat manual. La màquina només equilibra traient material de les platines, mentre que en l'equilibrat manual, s'afegeix pasta per equilibrar.

→ **Que fer en situació de NOK?**

Parar la línia, avisar a manteniment i obrir una QRQC de línia.

10.4.6.5. Resultats obtinguts després de la prova de producció

Trial Run 1:

Quantitat: 900 induïts amb reducció de coure

Problemes línia induïts: Cap problema

Problemes assemblatge motor: Ha fallat l'etiquetador, res a veure amb la reducció de coure en el col·lector.

Resultat de la prova de procés: OK

Trial Run 2:

QTY: 540 induïts amb reducció de coure

Problemes línia induïts: Cap problema

Problemes assemblatge motor: Problemes deguts a motors amb I(A) elevades. 50 motors muntats i la resta d'induíts no van ser muntats, i palets retinguts.

Trial run 3:

Quantitat: 600 induïts amb reducció de coure

Problemes línia induïts: Cap problema

Problemes assemblatge motor: Problemes de I(A) elevada no deguts a la reducció de coure del col·lector, el problema venia del mal calibratge amb el Magtrol. Es va tornar a realitzar a amb el Magtrol del laboratori, i la intensitat ha baixat aprox. 2 ampers.

10.4.6.6. Estudi de capacitat dels paràmetres que afecten a la reducció de coure en el col·lector

Els paràmetres que afecten a la reducció de coure en el col·lector, es poden dividir en dos processos; un és el tornejat del col·lector on es poden veure afectats el diàmetre exterior, el salt entre delgues i la rugositat del col·lector. L'altre són els paràmetres elèctrics controlats pel tèster, com ara la resistència de soldadura.

10.4.6.6.1. Control estadístic del procés (SPC)

El control de procés estadístic permet emprar criteris objectius per distingir variacions importants en processos de fabricació i en productes. El seu avantatge és la capacitat de monitoratge del centre del procés i la seva variació al voltant del centre. Recopilant dades de mesuraments en diferents llocs del procés, es poden detectar i corregir variacions en el procés que afectarien a la qualitat del producte o servei final, reduint desapfitaments i evitant que els problemes arribin al client final.

Aquest sistema està basat en la detecció precoç i prevenció de problemes, que suposa un clar avantatge vers als mètodes de qualitat com l'inspecció, que apliquen recursos per detectar i corregir problemes al final del producte o servei, quan ja es massa tard. A més a més de reduir els desapfitaments, SPC té com a conseqüència una reducció del temps necessari per produir el producte o servei. Això és degut parcialment a que la probabilitat de que el producte final tingui un retreball, però també és gracies a que podem identificar els colls d'ampolla, parades i

altres tipus d'esperes dins del procés. Reduccions del temps de cicle del procés relacionat amb millores de rendibilitat han fet del SPC una eina que redueix costos i augmenta la qualitat del producte final, incrementant la satisfacció del client.

El control estadístic del procés utilitza eines estadístiques per observar el rendiment de la cadena de producció per preveure desviacions importants que provoquin que un producte no sigui acceptat.

Observant en el moment just QUÈ ha passat en el procés que ha provocat un canvi, l'enginyer de qualitat o qualsevol membre del equip que està com responsable de la línia de producció pot solucionar la causa principal de la variació que ha aparegut en el procés i corregir el problema abans que d'obtenir un producte o servei defectuós.

10.4.6.6.2. Estudi de capacitat

Un estudi de capacitat es pot definir com el grau d'aptitud que té un procés per complir amb les especificacions tècniques desitjades. Quan la capacitat d'un procés és alta, es diu que el procés és capaç. Quan es manté estable al llarg del temps es diu que el procés està sota control.

Un procés s'estudia respecte a una variable aleatòria que és l'indicador de la qualitat del procés.

Fonaments estadístics

- Distribución Normal o campana de Gauss.

La distribució normal depèn de dos paràmetres μ i σ , que són la mitja i la desviació típica respectivament. Té una forma acampanada i és simètrica respecte a μ . Agafant múltiples de σ a ambdós costats de μ , trobem que el 68% està contingut en un entorn $\pm 1\sigma$ al voltant de μ , el 95% està contingut en un entorn $\pm 2\sigma$ al voltant de μ i que el 99,73% està comprès en $\pm 3\sigma$ al voltant de μ .

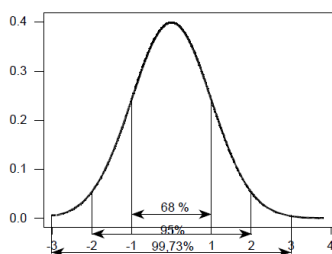


Figura 58. Funció de densitat de probabilitat normal

- Teorema del Límit Central.

El teorema del límit central (TLC) estableix que si una variable aleatòria s'obté com una suma de moltes causes independents, essent cadascuna d'elles de poca importància respecte el conjunt, llavors la seva distribució és asimptòticament normal.

Concepte de capacitat de procés

El paràmetre σ depèn del punt en el que centrem el procés. No obstant això, μ depèn del número i variabilitat de les causes comunes del procés i per tant és intrínseca a ell. Tanmateix 6σ és la Variabilitat Natural del Procés o Capacitat del Procés.

Índex Cp i Cpk

Amb la intenció de comparar la capacitat del procés i l'amplitud de les toleràncies a satisfer, es defineix l'índex de capacitat de procés:

$$C_p = \frac{T_s - T_i}{6\sigma}$$

Si es pretén que la producció estigui dins de tolerància, és necessari que $C_p > 1$.

Si el procés no estigués centrat, el valor d'aquest índex falsejaria el grau de cobertura respecte a fabricar peces fora de toleràncies. En aquests casos és més significatiu l'índex Cpk i es defineix com:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{T_s - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - T_i}{3\sigma} \right\}$$

D'aquesta manera es defineix un procés capaç com aquell que $C_{pk} > 1$.

Aplicant aquests conceptes a la variabilitat atribuïble d'una màquina de les que integren el procés de fabricació, podem definir la capacitat de màquina, l'índex de capacitat de màquina C_M i C_{MK} .

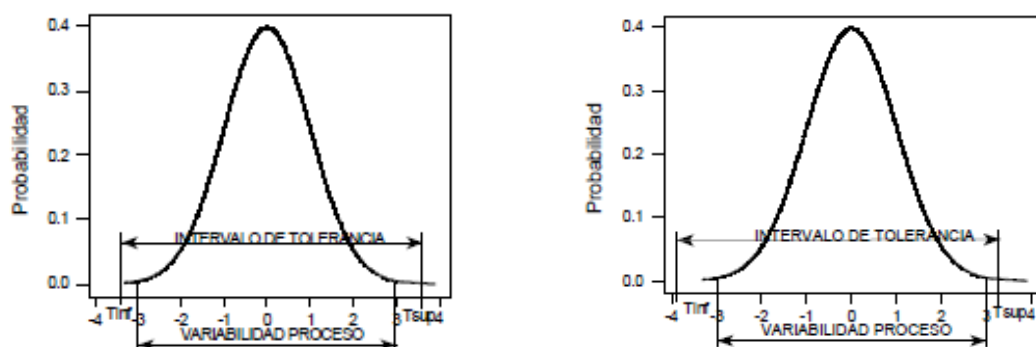


Figura 59. a) Índex Cp; b) Índex Cpk

Variabilitat a curt i llarg termini

Un procés productiu té habitualment dos tipus de variabilitat:

- Variabilitat inherent del procés: és aquella component de la variabilitat deguda a causes comuns i representa la variabilitat que pot estar present entre elements produïts en intervals pròxims.
- Variabilitat total del procés: és la variació resultant de totes les causes de variabilitat, en la que es tenen en compte factors com el desgast, canvis de lot de matèria prima, etc. Representa la variabilitat que pot afectar al conjunt dels elements fabricats rebuts per el client.

Potencialitat del procés. Índex Pp i Ppk

- Cp i Cpk es calculen amb la variabilitat inherent del procés (variabilitat a curt termini). En aquest cas es considera la variabilitat entre els elements de la mateixa mostra o mostres pròximes.
- Pp y Ppk es calculen amb la variabilitat total del procés (variabilitat a llarg termini). En aquest cas en té en compte la variabilitat introduïda per la deriva del centrat del procés i la inestabilitat del mateix.

Gràfics de control

Un gràfic de control és un diagrama especialment preparat on s'anoten els valors successius de la característica de qualitat que s'està controlant.

Els gràfics de control tenen com a objectiu una fàcil captació de les dades, claredat, consistència i mesurar les variacions de la qualitat.

El gràfic està compost per un línia central que representa el promig històric de la característica que s'està controlant, i dos límits, un superior i un d'inferior que es calculen amb les dades històriques i presenten els rangs màxims i mínims de variabilitat.

Aquest gràfics s'utilitzen quan la característica de qualitat que es desitja controlar és una variable continua.

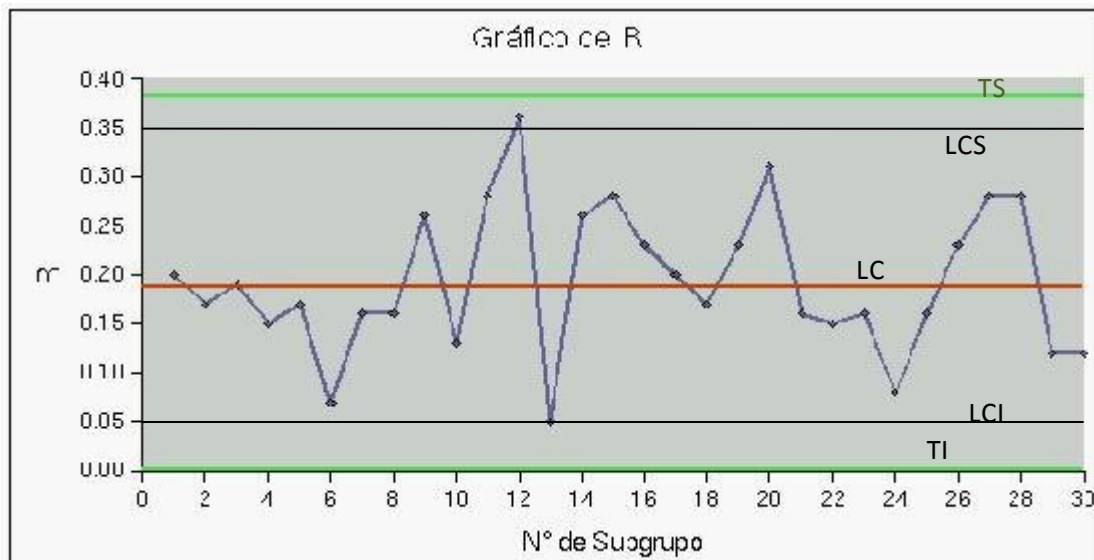


Figura 60. Exemple de gràfic de control

- Tolerància superior o TS: és la major tolerància permesa en plànol
- Tolerància Inferior o TI: és la menor tolerància permesa en plànol
- Límit de Control Superior o LCS: és el valor LC més 3 vegades la desviació estàndard
- Límit de Control Inferior o LCI: el valor és LC menys 3 vegades la desviació estàndard
- Límit Central o LC: és el valor mitjà, que tan pot ser el valor mitjà que nosaltres vulguem que estigui al voltant del paràmetre que estem mesurant o la mitja del valor històric.

Interpretació del gràfic de control

Els gràfics de control serveixen per indicar quan el procés està fora de control. Els límits de control superior i inferior serveixen per establir uns límits que, en cas que els sobrepassi alguna mostra, ens adonem que quelcom està malament en el procés, i així poder rectificar els paràmetres del procés abans que la mostra en qüestió estigui fora de tolerància. Aquest tipus de seguiment ens indica en tot moment com està evolucionant una variable en el temps i indicar si aquesta és estable, o en cas contrari, presenta alguna anomalia.

Les regles utilitzades per analitzar el gràfic de mesures i establir el criteri que determina si el procés es troba fora de control són les següents:

- Si alguna mostra o subgrup es troba fora dels límits de control superior o inferior.
- Si existeixen 6 mostres que estiguin en el mateix rang.
- Si existeixen 6 mostres que presenten un rang que va creixent de forma lineal.

10.4.6.6.3. Salt entre delgues

10.4.6.6.3.1. Estudi de la capacitat del salt entre delgues

És un estudi per comprovar si el procés de tornejat de la línia és o no és capaç de tornejat el col·lector amb la reducció de coure mantenint un salt entre delgues mes petit que $3\mu\text{m}$.

L'estudi de capacitat s'ha efectuat en 3 subconjunts, cadascun compost per 30 mostres. Aquestes mesures es van efectuar aprofitant els test de producció. És a dir, es van aprofitar 30 mostres de cada test per elaborar un estudi de capacitat.

En tots els casos, el Cpk és major a la unitat, demostrant que el procés és capaç de fabricar col·lectors amb salts de delgues dintre dels paràmetres exigits per la normativa interna.

En el Test de Producció 1 els resultats obtinguts són:

MITJANA	1,8003	Cp	1,453	Cpk	1,162
σ	0,344018	Cm	8,720	Cmk	0,872
MÀX.	2,4300	Pp	1,428	Ppk	1,142
MÍN.	1,2600				

En el Test de Producció 2 els resultats obtinguts són:

MITJANA	1,7710	Cp	1,382	Cpk	1,132
σ	0,361795	Cm	8,292	Cmk	0,849
MÀX.	2,4300	Pp	1,359	Ppk	1,113
MÍN.	1,1400				

En el Test de Producció 3 els resultats obtinguts són:

MITJANA	1,7157	Cp	1,255	Cpk	1,075
σ	0,398344	Cm	7,531	Cmk	0,806
MÀX.	2,6700	Pp	1,234	Ppk	1,057
MÍN.	1,0300				

La recopilació de dades i mesures es pot consultar en l'annex 9.

10.4.6.6.3.2. Gràfics de control de salt entre delgues

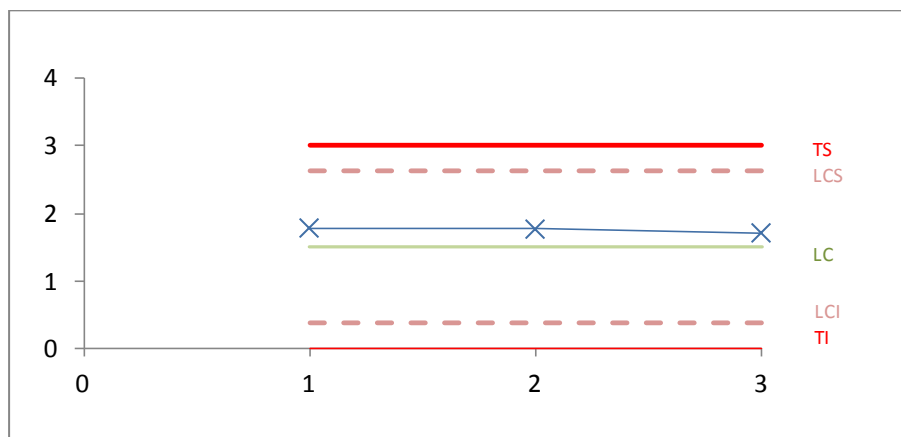


Figura 61. Gràfic de control de salt entre delgues del col·lector amb reducció d'espessor. Hi han 3 subgrups de 30 mostres cadascun (són les dades perdes en el Test de Prova)

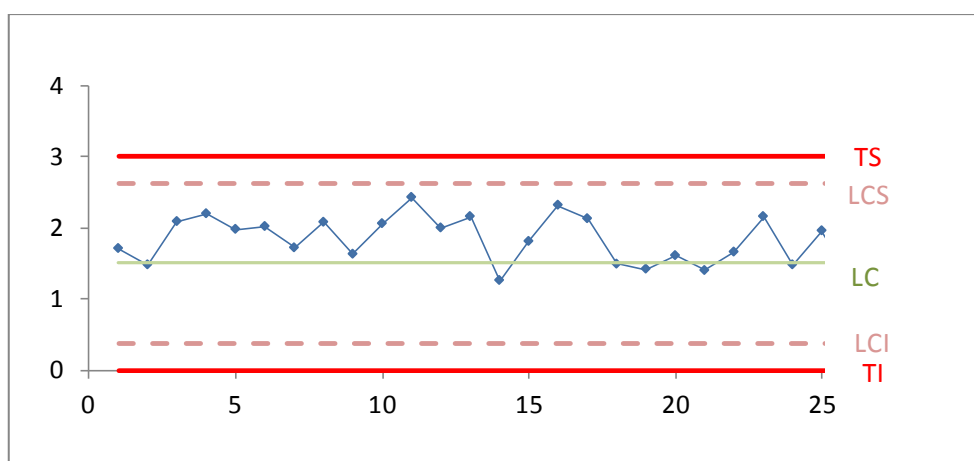


Figura 62. Gràfica de Control de salt entre delgues del col·lector de sèrie. Consta de 25 subgrups cadascun d'ells de 3 mostres (dades extretes de la línia de producció)

La gràfica de control en aquest cas no ens indica gaire, ja que hi ha molt pocs subgrups per que la gràfica ens pugui indicar l'efecte del tornejat als nous col·lector amb la reducció de coure.

10.4.6.6.4. Rugositat del col·lector

10.4.6.6.4.1. Estudi de capacitat de la rugositat del col·lector

És un estudi per comprovar si el procés de tornejat de la línia és o no és capaç de tornejar el col·lector amb la reducció de coure mantenint una rugositat de $0,6 \div 1,2 \mu\text{m}$.

L'estudi de capacitat s'ha efectuat en 3 subconjunts, cadascun compost per 30 mostres. Aquestes mesures es van efectuar aprofitant els test de producció. És a dir, es va aprofitar 30 mostres de cada test per elaborar un estudi de capacitat.

En tots els casos, el Cpk és major a la unitat, demostrant que el procés és capaç de fabricar col·lectors amb una rugositat dintre dels paràmetres exigits per la normativa interna.

En el test de producció 1 els resultats obtinguts són:

MITJANA	0,9558	Cp	1,248	Cpk	1,016
σ	0,080111	Cm	7,490	Cmk	0,762
MÀX.	1,0800	Pp	1,227	Ppk	0,999
MÍN.	0,700				

En el Test de Producció 2 els resultats obtinguts són:

MITJANA	0,9337	Cp	1,315	Cpk	1,167
σ	0,076047	Cm	7,890	Cmk	0,876
MÀX.	1,0900	Pp	1,293	Ppk	1,148
MÍN.	0,7900				

En el Test de Producció 3 els resultats obtinguts són:

MITJANA	0,9347	Cp	1,230	Cpk	1,088
σ	0,081270	Cm	7,383	Cmk	0,816
MÀX.	1,1000	Pp	1,210	Ppk	1,07
MÍN.	0,7900				

La recopilació de dades i mesures es pot consultar en l'annex 10.

10.4.6.6.4.2. Gràfics de control de la rugositat del col·lector

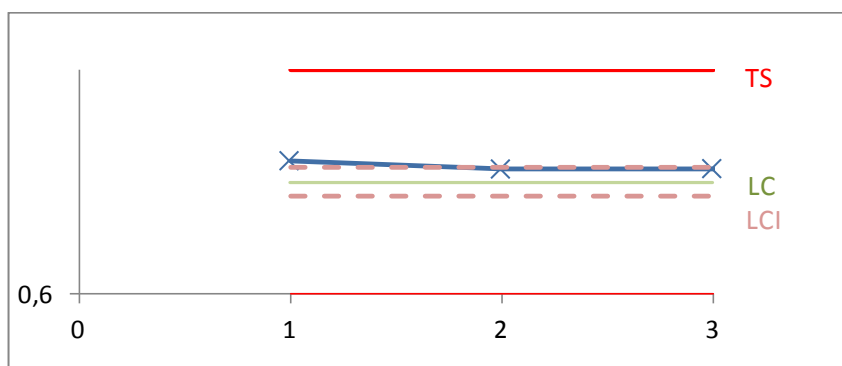


Figura 63. Gràfic de control de la rugositat del col·lector amb reducció d'espessor. Hi han 3 subgrups de 30 mostres cadascun (són les dades perses en el Test de Prova)

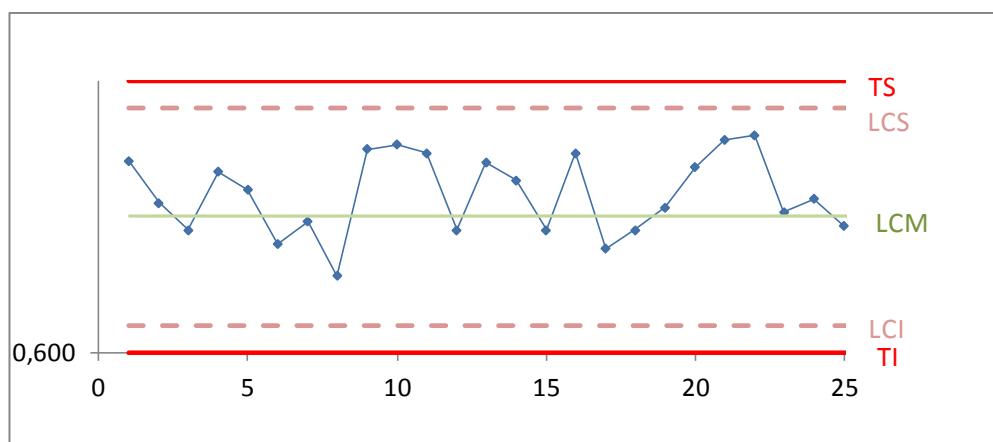


Figura 64. Gràfica de Control de la rugositat del col·lector de sèrie. Consta de 25 subgrups cadascun d'ells de 3 mostres (dades extretes de la línia de producció)

En el primer test de prova la rugositat està fora del límit superior de control, però sense estar fora de tolerància. Aquest factor és va detectar i modificant els paràmetres del tornejat es va poder arreglar en el segon test de prova que, com es pot comprovar, ja està dins dels límits de control i es podrà arreglar, ja que encara no ha entrat en producció en sèrie.

10.4.6.6.5. Diàmetre extern del col·lector

10.4.6.6.5.1. Estudi de capacitat del diàmetre extern del col·lector

És un estudi per comprovar si el procés de tornejat de la línia és o no és capaç de tornejar el col·lector amb la reducció de coure mantenint un diàmetre exterior de $29,7 \div 29,9$ mm.

L'estudi de capacitat s'ha efectuat en 3 subconjunts, cadascun compost per 30 mostres. Aquestes mesures es van efectuar aprofitant els tests de producció. És a dir, es va aprofitar 30 mostres de cada test per elaborar un estudi de capacitat.

En tots els casos, el Cpk és major a la unitat, demostrant que el procés és capaç de fabricar col·lectors amb un diàmetre exterior dintre dels paràmetres exigits per la normativa interna.

En el Test de Producció 1 els resultats obtinguts són:

MITJANA	29,7907	Cp	1,272	Cpk	1,154
σ	0,026196	Cm	7,635	Cmk	0,865
MÀX.	29,8700	Pp	1,251	Ppk	1,134
MÍN.	29,7500				

En el Test de Producció 2 els resultats obtinguts són:

MITJANA	29,8350	Cp	1,714	Cpk	1,114
σ	0,019451	Cm	10,282	Cmk	0,835
MÀX.	29,8700	Pp	1,685	Ppk	1,095
MÍN.	29,7900				

En el Test de Producció 3 els resultats obtinguts són:

MITJANA	29,7797	Cp	1,405	Cpk	1,119
σ	0,023732	Cm	8,427	Cmk	0,839
MÀX.	29,8300	Pp	1,381	Ppk	1,100
MÍN.	29,7400				

La recopilació de dades i mesures es pot consultar en l'annex 11.

10.4.6.6.5.2. Gràfics de control del diàmetre col·lector

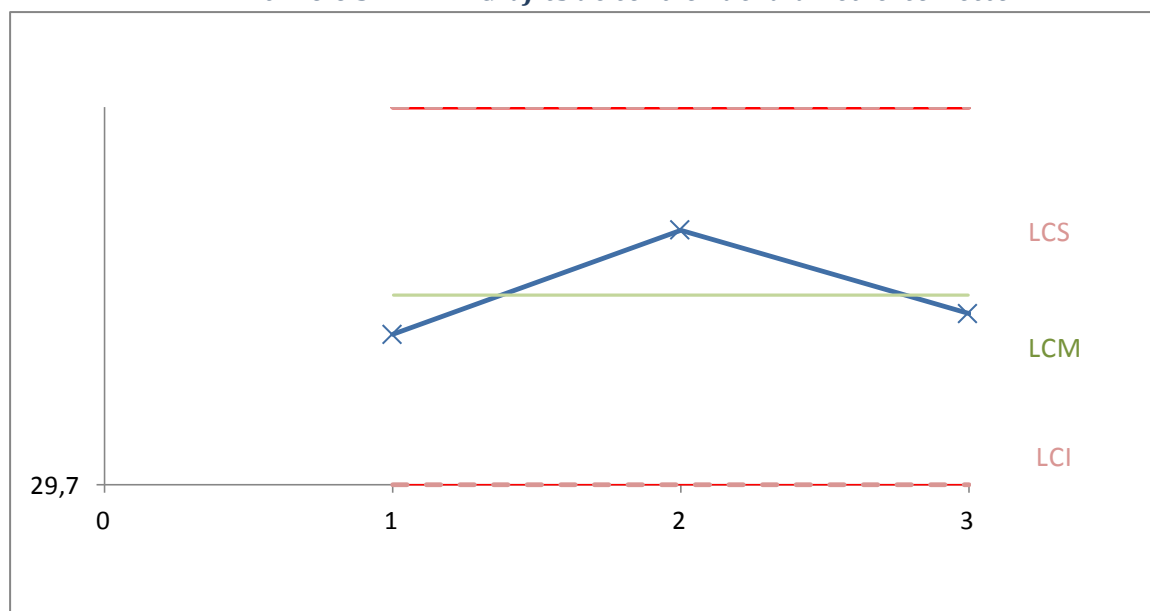


Figura 65. Gràfic de control del diàmetre e del col·lector amb reducció d'espessor. Hi han 3 subgrups de 30 mostres cadascun (són les dades perses en el Test de Prova)

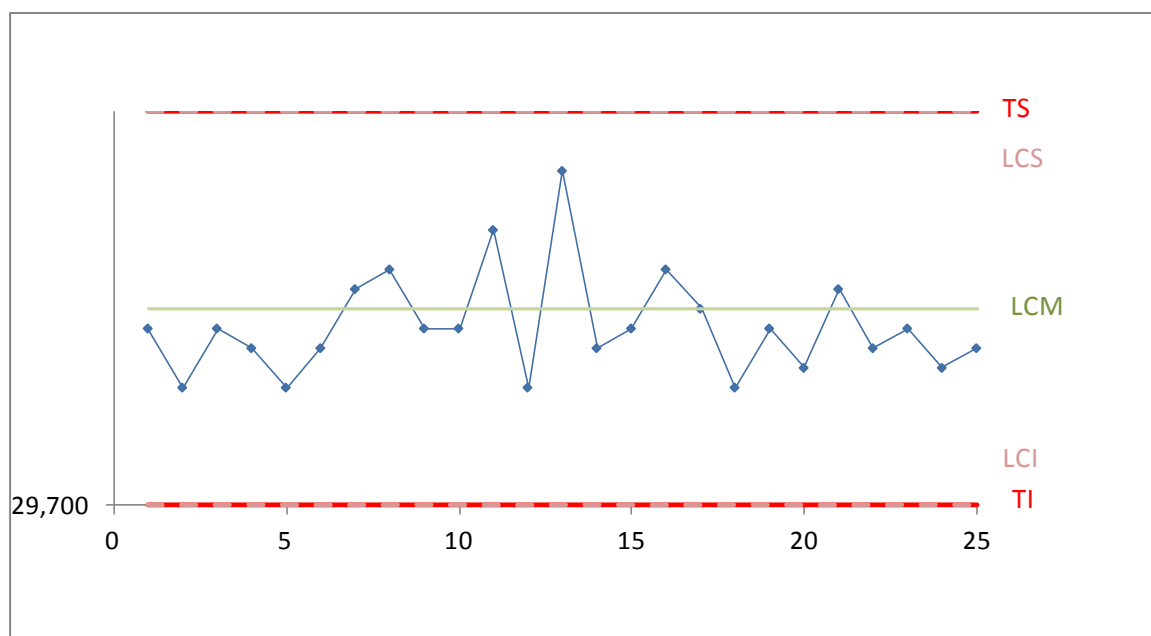


Figura 66. Gràfica de Control del diàmetre exterior del col·lector de sèrie. Consta de 25 subgrups cadascun d'ells de 3 mostres (dades extretes de la línia de producció)

10.4.6.6. Estudi de capacitat de la resistència a la soldadura

10.4.6.6.1. Estudi de capacitat de la resistència de soldadura dels ganxos del col·lector

És un estudi per comprovar si el procés de soldadura de la línia és o no és capaç de soldar els ganxos col·lector amb la reducció de coure mantenint una resistència menor que $15\text{m}\Omega$.

L'estudi de capacitat s'ha efectuat en 3 subconjunt, cadascun compost per 30 mostres. Aquestes mesures es van efectuar aprofitant els tests de producció. És a dir, es va aprofitar 30 mostres de cada test per elaborar un estudi de capacitat.

En tots els casos, el Cpk és major a la unitat, demostrant que el procés és capaç de soldar els ganxos dels col·lectors dintre dels paràmetres exigits.

En el Test de Producció 1 els resultats obtinguts són:

MITJANA	7,6333	Cp	2,623	Cpk	2,577
σ	0,953007	Cm	15,740	Cmk	1,932
MÀX.	9,8000	Pp	2,759	Ppk	2,533
MÍN.	5,9000				

En el Test de Producció 2 els resultats obtinguts són:

MITJANA	7,7433	Cp	2,947	Cpk	2,851
σ	0,848404	Cm	17,680	Cmk	2,138
MÀX.	8,9000	Pp	2,897	Ppk	2,803
MÍN.	6,1000				

En el Test de Producció 3 els resultats obtinguts són:

MITJANA	7,8433	Cp	2,858	Cpk	2,727
σ	0,874713	Cm	17,148	Cmk	2,045
MÀX.	9,6000	Pp	2,810	Ppk	2,681
MÍN.	6,1000				

La recopilació de dades i mesures es pot consultar en l'annex 12.

10.4.6.6.2. Gràfics de control de la resistència de soldadura dels ganxos del col·lector

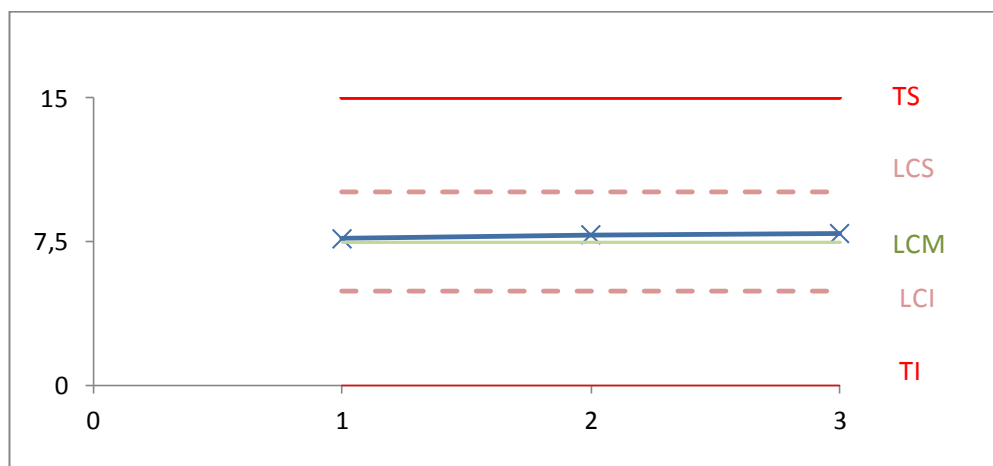


Figura 67. Gràfic de control resistència de soldadura dels ganxos del col·lector amb reducció d'espessor. Hi han 3 subgrups de 30 mostres cadascun (són les dades perses en el Test de Prova)

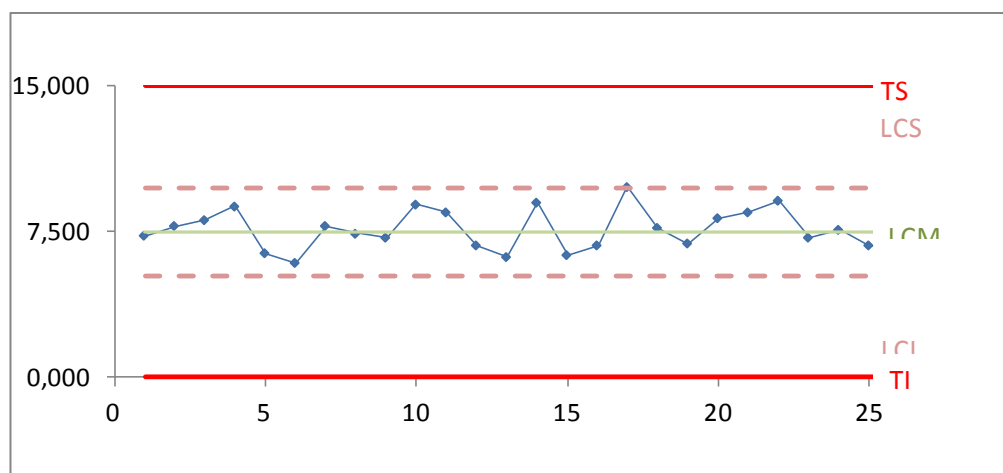


Figura 68. Gràfica de Control resistència de soldadura dels ganxos del col·lector de sèrie. Consta de 25 subgrups cadascun d'ells de 3 mostres (dades extretes de la línia de producció)

10.4.7. Altres assajos no inclosos en el DVP&R

Els assajos no inclosos en el DVP&R, són proves que no es veuen afectades en la reducció de coure en el col·lector però que són necessàries per l'homologació del component i es demanen en el PPAP. Seguidament s'explica la funció que té el PPAP.

Vegi's l'annex 13.

11. Resultats obtinguts: PPAP

El PPAP (Production part approval process) és un conjunt de documents que garanteixen al client productes amb zero defectes. Això s'aconsegueix mitjançant l'anàlisi de les eines de producció abans de la producció real de la peça en sèrie. A l'utilitzar el PPAP, es processen tots els informes d'assajos que s'han realitzat en cada producte i el client s'assegura de que les seves expectatives siguin complertes.

11.1. DOCUMENTS

A continuació, es pot apreciar la llista dels 18 elements que s'agrupen en el PPAP, i una breu descripció dels mateixos:

- **Registres de disseny**

Una còpia del dibuix. Si el client és responsable del disseny, es tracta d'una còpia del plànol del client que s'envia juntament amb l'ordre de compra. Si el proveïdor és responsable del disseny és un dibuix publicat a sistema d'alliberament del proveïdor.

- **Autoritzat canvi d'enginyeria**

Un document que mostra la descripció detallada del canvi. En general, aquest document es denomina "Avís de canvi d'enginyeria", però pot ser cobert per l'ordre de compra del client o qualsevol altra autorització de l'enginyeria.

- **Aprovació d'Enginyeria**

Aquesta aprovació és generalment la prova d'enginyeria amb peces de producció realitzades a la planta del client. A "desviació temporal" es requereix generalment per enviar peces als clients abans del PPAP. El client pot requerir altres "Aprovacions d'Enginyeria".

- **AMFE de disseny**

Una còpia de la manera de fallada Disseny i Anàlisi d'Efectes (DFMEA), revisat i signat pel proveïdor i el client. Si el client és responsable del disseny, en general els clients no es pot compartir aquest document amb el proveïdor. No obstant això, la llista de totes les característiques crítiques o d'alta de productes d'impacte ha de ser compartida amb el proveïdor, pel que es pot abordar en el Pla PFMEA i Control.

- **Diagrama de flux de procés**

Una còpia del flux del procés, indicant tots els passos i la seqüència en el procés de fabricació, inclosos els components entrants.

- **AMFE de procés**

Una còpia de la manera de fallada de procés i anàlisi efecte (AMEF), revisat i signat pel proveïdor i el client. El PFMEA segueix els passos de flux de procés, i indicar "el que podria anar malament" durant la fabricació i muntatge de cada component.

- **Pla de Control**

Una còpia del Pla de Control, revisat i signat pel proveïdor i el client. El Pla de Control segueix els passos PFMEA, i proporciona més detalls sobre com es comproven els "possibles problemes" en la qualitat, el procés de muntatge entrant o durant les inspeccions dels productes acabats.

- **Mesura dels estudis d'anàlisi del sistema**

MSA conté generalment l'especificació de les característiques crítiques o d'alt impacte, i la confirmació que els indicadors utilitzats per mesurar aquestes característiques són calibrats.

- **Resultats dimensionals**

Una llista de totes les dimensions observades en els plànols. Aquesta llista mostra les característiques del producte, les especificacions, els resultats del mesurament i l'avaluació mostrant si aquesta dimensió és "ok" o "nok". En general, s'informa d'un mínim de 6 peces per cada combinació de producte / procés.

- **Registres de Material / Proves de rendiment**

Un resum de totes les proves realitzades a la peça. Aquest resum és, en general, en forma de DVP&R (Pla de verificació del disseny i memòria), que enumera cada prova individual, quan es va dur a terme, l'especificació, els resultats i l'avaluació d'apte / no apte. Si hi ha una Especificació de l'Enginyeria, en general s'observa en la impressió. El DVP&R ha de ser revisat i signat pels dos grups d'enginyeria del client i proveïdor. L'enginyer de qualitat buscarà una signatura del client en aquest document.

A més, en aquesta secció s'enumeren tots els certificats de materials (acer, plàstic, revestiment, etc), com s'especifica en la impressió. La certificació de materials haurà de demostrar el compliment de la convocatòria específica en la impressió.

- **Estudis Inicials del Procés**

En general, aquesta secció mostra tots els gràfics de control estadístic de processos que afecten les característiques més importants. La intenció és demostrar que els processos crítics tenen variabilitat estable i que s'està executant a prop del valor nominal previst.

- **Documentació del Laboratori Qualificat**

Còpia de tots els certificats de laboratori que realitzen les proves reportades en la secció 10,.

- **Informe d'aprovació d'aparença**

Una còpia del formulari d'AAI (Aspecte Inspecció Aprovació) signat pel client. Aplicable per als components que afecten a l'aparença única.

- **Exemples de peces de producció**

Una mostra del mateix lot de producció inicial. El paquet PPAP generalment mostra una imatge de la mostra i en el qual es manté (client o proveïdor).

- **Mostres inicials**

Una mostra signada pel client i el proveïdor, que en general s'utilitza per capacitar els operadors en les inspeccions subjectius com visual o acústica.

- **Ajudes de Verificació: POKA-YOKE**

Quan hi ha eines especials per comprovar i verificar la correcta producció de la peça, aquesta secció mostra una imatge dels registres de l'eina i el calibratge, incloent l'informe dimensions de l'eina.

- **Requisits específics del client**

Cada client pot tenir requisits específics que s'han d'incloure en el paquet PPAP.

- **Remissió part Warrant**

Aquesta és la forma que resumeix tot el paquet PPAP. Aquesta forma mostra el motiu de la presentació (canvi de disseny, revalidació anual, etc) i el nivell dels documents presentats al client.

12. Estudi econòmic de la reducció de coure en el col·lector

La reducció de coure en el col·lector suposaria un estalvi de 0,0065 euros/motor.

Amb un volum anual de motors de 4.700.000 suposaria un estalvi de 30.550 euros l'any, només a la planta espanyola. Contant les altres plantes de producció amb 1.600.000 motors/any, en conjunt la xifra puja a 41.000 euros aproximadament l'any reduint 0,2mm el diàmetre intern del col·lector.

En aquests guanys s'ha de descomptar el cost que requereix fer una estampació nova que representa una inversió de 13.500 euros.

És a dir, que amb una inversió de 13.500 euros, el primer any implicarà uns guanys de 27.450 euros, i després del primer any hi haurà un estalvi de 40.950 euros l'any.

	Planta d'Espanya	Altres Plantes
Estalvi per peça	0,0065 €	0,0065 €
Volum anual per planta	4.700.000	1.600.000
Estalvi anual per planta	30.550 €	10.400 €
Inversió a realitzar	13.500 €	

Estalvi anual en totes les plantes el primer any després de la inversió	27.450€
Estalvi anual en totes les plantes després del primer any de la inversió	40.950 €

Taula 12.1. Estudi dels aspectes econòmics que implica la reducció de coure en el col·lector

13. Aspectes mediambientals

L'impacte mediambiental dels productes durant la fabricació abasta tant la fabricació de la planta espanyola com les dels nostres proveïdors. Això significa que tant nosaltres com els nostres proveïdors, hem de dur a terme les nostres activitats de manera que l'impacte sobre el medi ambient es redueixi al mínim. Per tant, s'espera dels nostres proveïdors una participació activa en els problemes ambientals i l'establiment i l'adhesió a una gestió segons ISO 14001 o una altra norma equivalent. Això no exigeix el proveïdor de complir amb totes les normes nacionals i internacionals pertinents. L'empresa recomana a tots els proveïdors siguin certificació ISO 14001.

Les tècniques i mètodes a citats a continuació són els que es creuen que constitueixen els requisits per assolir l'objectiu ambiental abans esmentat:

- Directrius escrites sobre el compliment ambiental.
- Revisió periòdica dels processos i productes de producció, manteniment, subministrament i eliminació per determinar el seu impacte ambiental.
- Un pla d'emergència.
- Definició d'objectius per millorar la protecció del medi ambient i de la documentació del seu compliment. Aquesta inclou: protecció dels recursos (matèries primeres, energia, aigua), la prevenció i la reducció de la contaminació ambiental, la minimització dels residus i rebuigs i la reducció dels envasos d'un sol ús.
- El compliment de totes les normes relatives als materials d'automoció i substàncies.

- Tenir un concepte / programa de reciclatge.

L'ús i consum d'energia i matèries primeres, es gestionen amb eficàcia i amb un mínim de logística i transport durant tot el cicle de vida del vehicle / component.

13.1. Fi de vida del vehicle (ELV) / Sistema Internacional de Dades de Materials (IMDS)

La Directiva de Fi de Vida del Vehicle (ELV), 2000/53/CE, va ser promulgada per la Comissió Europea per reduir al mínim l'impacte dels vehicles al final de la seva vida útil en el medi ambient. L'ús de plom, mercuri, cadmi i crom hexavalent estan prohibits en els vehicles i els seus components, a excepció de certes exempcions publicades en l'annex II de la Directiva. Aquest és un requisit obligatori pels estats de la Unió Europea (UE), dels Estats membres de la UE i també es requereix d'Amèrica del Nord, i alguns, els fabricants de vehicles japonesos.

A més, altres requisits legals, com les directives de la UE 2002/95/CE, 2002/96/CE i 2003/11/CE restringeixen l'ús de determinades substàncies ignífugues: bifenils polibromats (PBB) i polibromats difenil èters (PBDE). PBB o PBDE no han d'estar presents en els components o materials subministrats.

Els proveïdors de totes les regions s'asseguraran que tots els components i materials subministrats, han de complir amb els requisits legals abans esmentats. El proveïdor ha de tenir en compte tots els aspectes del component o muntatge o material lliurat, i han d'investigar tots els components de sub-proveïdors, processos, matèries primeres, lubricants, recobriments, pintures i constituents químics, etc.

Per garantir el compliment dels diversos requisits legals i dels clients, l'empresa exigeix als seus proveïdors que informin sobre els materials emprats en els seus respectius components. El Sistema Internacional de Dades de Materials (IMDS) ha estat desenvolupat pels fabricants de vehicles per recollir i gestionar les dades.

Els proveïdors han de remetre les dades ELV / IMDS necessàries tan aviat com sigui possible després adjudicació de nous projectes, però en tot cas abans de la presentació PPAP. El proveïdor com a part de la presentació PPAP ha de proporcionar la confirmació de l'acceptació de les dades ELV / IMDS.

14. Conclusions

Els resultats obtinguts amb els tests realitzats en prototips i amb les dades que ens aporten els sistemes de seguiment de la qualitat, podem afirmar que la reducció de coure en el col·lector suposa una optimització en el seu disseny original, ja que les seves propietats no es veuen afectades i aquesta modificació en el disseny del conjunt motor suposa la reducció de 0,0065€ en el preu d'un motor.

Des del punt de vista del disseny, aquesta modificació influeix, però de manera insignificant en paràmetres funcionals del conjunt motor. És a dir, en l'assaig de sobretensió els motors es comporten millor amb la reducció de coure, mentre que en els punts de funcionament decreix un 2% el rendiment respecte els de la sèrie. Tots els motors han superat satisfactòriament els test realitzats segons els criteris d'aprovació estipulats prèviament.

Des del punt de vista producció/qualitat, podem afirmar que no genera cap problema en l'assemblatge del motor la reducció de coure en el col·lector. Encara que disposant d'eines de control de la qualitat, si en un futur s'esdevingués alguna anomalia en el procés, es detectaria abans que el producte final es considerés defectuós.

Així doncs, podem afirmar, que el projecte que modifica l'espessor del col·lector d'un motor de corrent continu amb escombretes d'excitació independent, reduint en 0,2mm el diàmetre interior de les delgues de coure, és un projecte que es pot aprovar i homologar perquè pugui entrar en la línia de producció suposant una reducció de cost sobre el conjunt motor.

Bibliografia i Referències

Llibres

Màquines elèctriques

- A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley i Alexander Kusko, "Teoría y análisis de las Máquinas Eléctricas", Barcelona: Editorial Hispano Europea, 1984
- Oriol Boix, Luis Sainz, Felipe Córcoles y Francisco J. Suelves, "Tecnología Eléctrica", Barcelona: Ediciones Ceysa
- Agustín Gutierrez Páucar, "Teoría y análisis de Máquinas Eléctricas", Lima: Editorial Hozlo S.R.L., 2001
- Jesus Fraile Mora, "Máquinas eléctricas", Madrid: Editorial McGraw-Hill, 2003
- Stephen J. Chapman, "Máquinas eléctricas", Madrid: Editorial McGraw-Hill, 2005
- Moeller, Franz; Kübler, Erwin; Werr, Theodo "Máquinas de corriente continua. Máquinas de corriente alterna : incluso transformadores", Barcelona: Editorial Labor, 1961
- López Vázquez, José J; Rodríguez Treitero, Antonio; Ruiz González, Antonio; "Máquinas corriente continua", Málaga: Universidad de Málaga, Dto. de Ingeniería Eléctrica
- Francisco Villaverde, "Motores de corriente continua", Barcelona: Editorial Gallach, 1934
- Dagneaux, Jean; Lully, Roger A, "Electrotecnia: teoría general y máquinas de corriente continua y de corriente alterna", Madrid: Editorial Dossat, 1962
- Daponte, Julio José, "Máquinas eléctricas para técnicos: introducción a la teoría de la máquina eléctrica unificada : sistema internacional de unidades", Buenos Aires: Editorial Mitre, 1985

Electricitat i Camps Magnètics

- Johannes G. Lang, "El Campo Eléctrico", Barcelona: MARCOMBO SA, 1985
- Johannes G. Lang, "El Campo Magnético", Barcelona: MARCOMBO SA, 1990
- F. Marín Alosa, "Campos Eléctrico y Magnético" Barcelona: Editorial Alhambra, S.A., 1974
- Marcelo Antonio Sobrevilla, "Ingeniería de la energía eléctrica", Editorial: Ediciones Marymar, 1984
- Edward M. Purcell, "Electricidad y Magnetismo", Barcelona: Editorial Reverté, 1988
- Francis W. Sears, "Fundamentos de la Física: Electricidad y Magnetismo", Madrid: Editorial Aguilar, 1958

- William Taussig Scott, “La física de la Electricidad y el Magnetismo “Mejico: Editorial Continental S.A., 1962
- Raymond A. Serway, “Electricidad y Magnetismo”, Madrid: Editorial McGraw-Hill, Tercera Edición

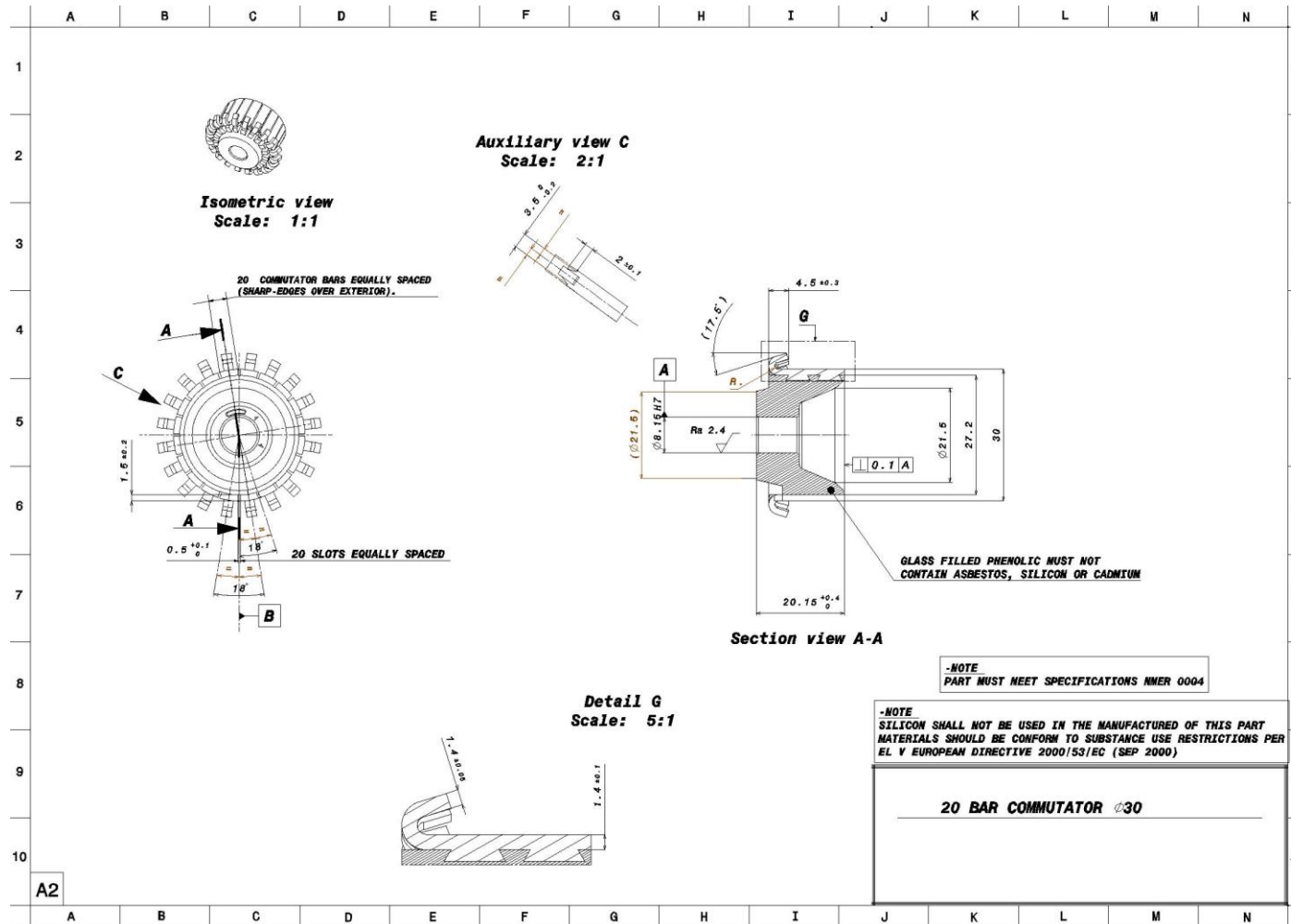
Recursos digitals

- <http://www.motorspain.com> [Consulta: 4 Juny. 2013]
- <http://diccionario.motorgiga.com> [Consulta: 4 Juny. 2013]
- <http://www.mcgraw-hill.es> [Consulta: 4 Juny. 2013]
- <http://www.areatecnologia.com> [Consulta: 4 Juny. 2013]
- <http://www.sapiensman.com> [Consulta: 4 Juny. 2013]
- <http://www.endesaeduca.com> [Consulta: 4 Juny. 2013]
- <http://www.asifunciona.com> [Consulta: 4 Juny. 2013]
- <http://www.aficionadosalamecanica.com> [Consulta: 4 Juny. 2013]

Altres documents

- Formacions internes de l'empresa sobre Motors elèctrics

ANNEX 1: DRAWING DEL COLECTOR



Annex 2: Seqüència de fabricació del col·lector



1. Alambró



2. Trefilat



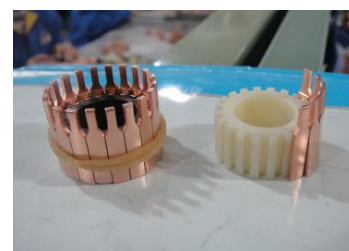
3. Trefilat 2



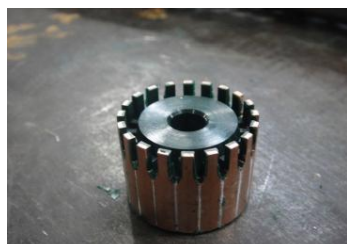
4. Perforar



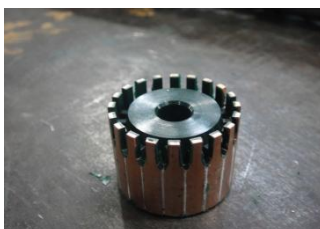
5. Rentat



6. Assemblatge



7. Modelar



8. Curat



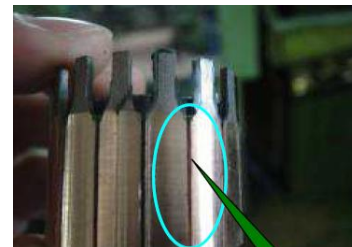
9. Perforació



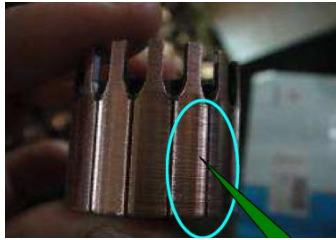
10. Acabat superficial



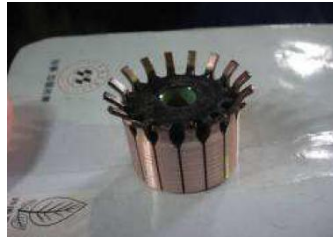
11. Mecanitzat



12. Ranures



13. Polit



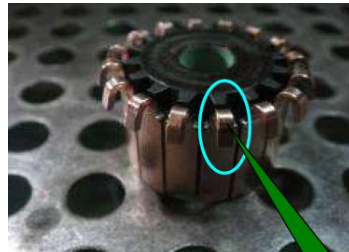
14. Corbar



15. Abrillantar



16. Corbar



17. Polir el ganxo



18. Inspecció de l'aparença



19. Inspecció dimensional



20. Test de Voltatge



21. Inspecció aleatòria



22. Empaquetat

Annex 3: Coeficients de l'AMFE

Coeficient de severitat S

Criteris: Client final (usuari)	nota	Criteris: Flux abans del Client
Degradació del funcionament només perceptible per un professional dotat amb medis tècnics	1	Cap influència sobre les operacions en el flux de la fabricació
Degradació del funcionament només perceptible per un conductor experimentat. El funcionament tèrmic disminueix lleugerament en les especificacions	2	
Degradació de prestacions ocasionant problemes ocasionals	3	Efecte menor que l'operari pot detectar causant tan sols una pertorbació lleugera sense pertorbar el flux normal de producció
Degradació prestacions ocasionant problemes permanents	4	
Degradació del funcionament sensible o visible que requereix la intervenció d'un especialista	5	Pertorbació lleugera del flux.
Degradació del funcionament provocant la parada de la funció	6	Pertorbació moderada del flux. Alguns articles defectuosos
Degradació del funcionament provocant la parada del vehicle i el reemplaçament del producte (retorn de garantia)	8	Articles defectuosos significatius. Pertorbació significativa del flux
	9	Aturada de la producció (intern o client)
Degradació del funcionament provocant la pèrdua del control sense avis previ. Seguritat de les persones (usuaris i personal) compromès. No conformitat amb les regulacions de seguretat	10	Seguritat de les persones (usuaris i personal)

Coeficient de Probabilitat de Presencia Po (ocurrència)

criteris	Probabilitat d'aparèixer	nota
No seria raonable de preveure la fallada	1ppm=1/106	1
Petita fallada respecte el nombre de productes venuts en projectes semblants	50ppm=1/20000	2
	100ppm=1/10000	3
Fallada ocasional observat en projectes semblants	500ppm=1/2000	4
	1000ppm=1/1000	5
	5000ppm=1/200	6
Fallada ocasional observada en projectes semblants	10000ppm=1/100	7
	50000ppm=1/20	8
És quasi segur que la fallada apareixerà en proporcions majors	100000ppm=1/10	9
	500000ppm=1/2	10

Probabilitat de la NO detecció Pd (causes i possibles modes de fracàs i efectes)

Criteris	nota
La solució existeix, és estandard, era objecte de les proves d'aprovació i cap problema en la fabricació	1
La solució és nova, els test van ser realitzats parcialment, però són per confirmar	5
La solució és nova, res s'ha programat per provar-ho i aprovar-la	10

Annex 4: Salt entre delgues

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Extracció de les delgues

Descripció del test

-

Segons Normativa interna: es el salt que existeix entre una delga i la adjacent
El salt ha de ser menor a 3µm

Criteri d'acceptació

-

Comparatiu entre nova configuració i la de sèrie

Especificació

-

Procediment intern

Resultats

1	1,710	11	2,430	21	1,400
2	1,480	12	2,000	22	1,660
3	2,090	13	2,160	23	2,160
4	2,200	14	1,260	24	1,480
5	1,980	15	1,810	25	1,960
6	2,020	16	2,320	26	1,260
7	1,720	17	2,130	27	2,080
8	2,080	18	1,490	28	1,350
9	1,630	19	1,420	29	1,260
10	2,060	20	1,610	30	1,340

Annex 5: Resistència mecànica: extracció de la delga

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Extracció de les delgues

Descripció del test

-
Segons Normativa interna: la força necessària per extreure les delgues de la baquelita.
La força ha de ser min 20daN

Criteri d'acceptació

-
Comparatiu entre nova configuració i la de sèrie

Especificació

-
Procediment intern

Resultats

new sample		F ≥ 20 kgf
DATA	Nº MOTOR	MAX. LOAD (kgf)
16/11/2012	1	44,23
16/11/2012	2	41,61
16/11/2012	3	44,06
16/11/2012	4	31,48
16/11/2012	5	47,24

AVERAGE	41,72
MAX.	47,24
MIN.	31,48

F≥ 20 kgf		
DATA	N° MOTOR	MAX. LOAD (kgf)
16/11/2012	1	45,77
16/11/2012	2	41,3
16/11/2012	3	42,09
16/11/2012	4	42,73
16/11/2012	5	35,87

AVERAGE	41,55
MAX.	45,77
MIN.	35,87

Annex 6: Punts de funcionament

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Punt de funcionament

Descripció del test

Comprovar que els punt de funcionament no varien

Criteri d'acceptació

Comparatiu entre nova configuració i la de sèrie i no hi ha d'haver una desviació major que el 3%

Especificació

Procediment intern

Resultats

REDUCCIO DE COURE EN EL COL·LECTOR

MOSTRA	I (A)	PRM	RENDIMENT
1	31,2	2786	68,3
2	32	2813	67,2
3	31,3	2844	69,5
4	31,2	2789	68,4

MITJANA	31,43	2808	68,35
---------	-------	------	-------

CONFIGURACIO DE SERIE

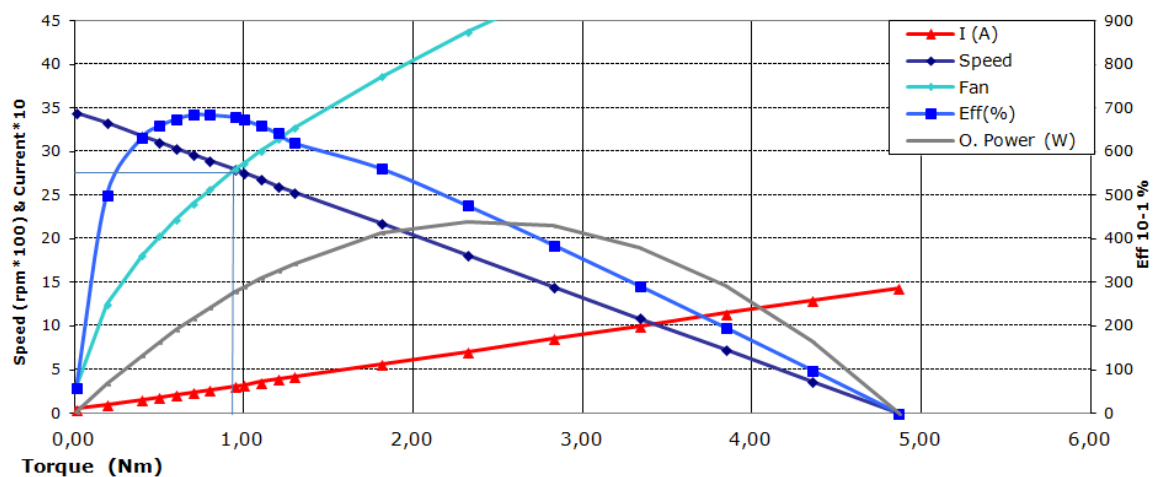
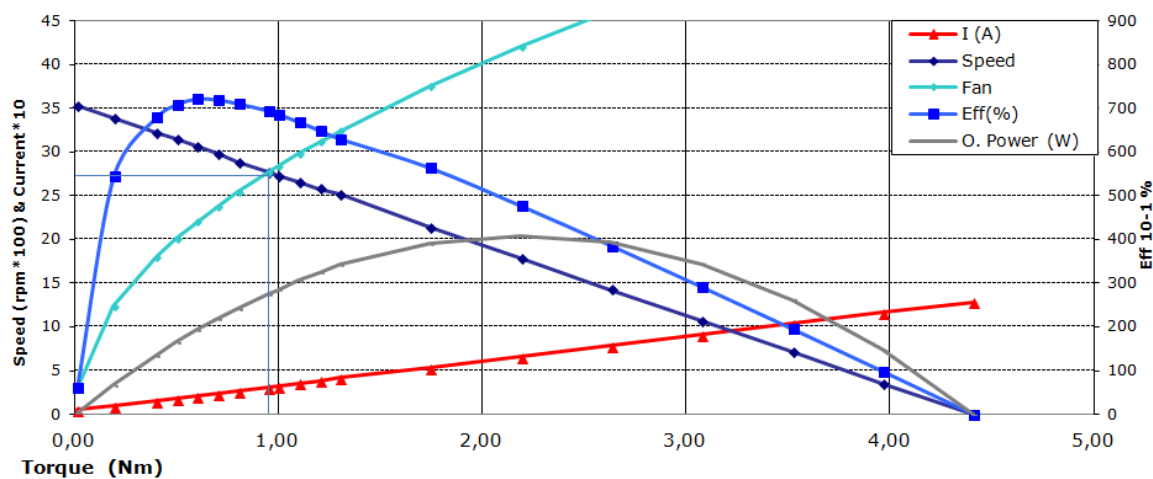
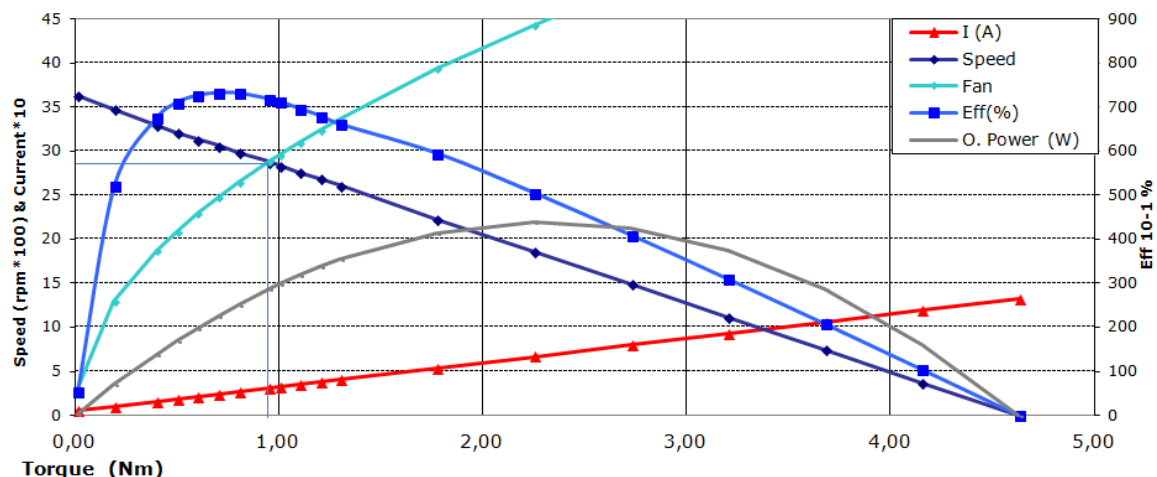
MOSTRA	I (A)	PRM	RENDIMENT
1	30,5	2885	72,3
2	31,5	2797	67,9
3	30,5	2768	69,4
4	30,7	2878	71,7

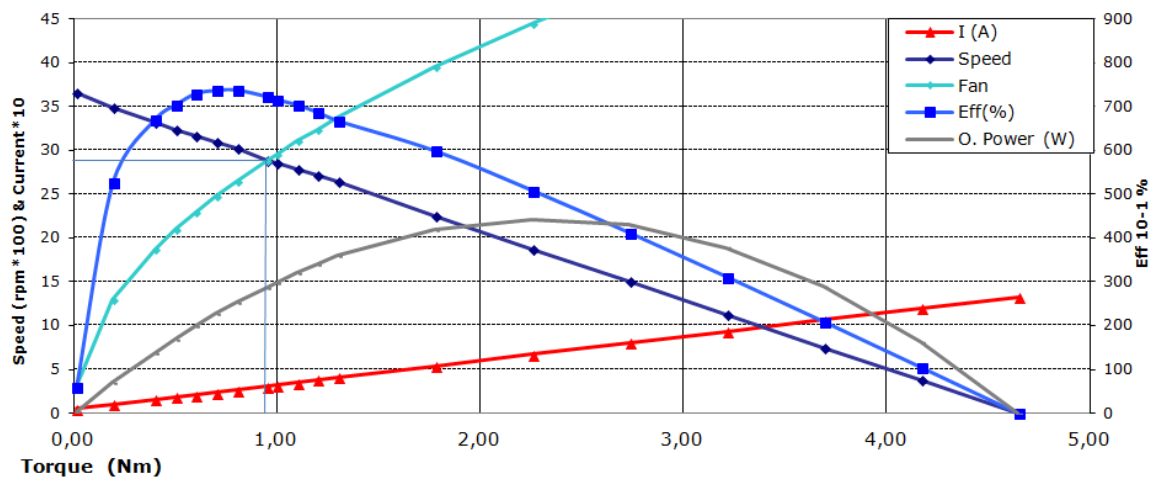
MITJANA	30,8	2832	70,325
---------	------	------	--------

$\Delta(\%)$	2,00	-0,85	-2,88
--------------	------	-------	-------

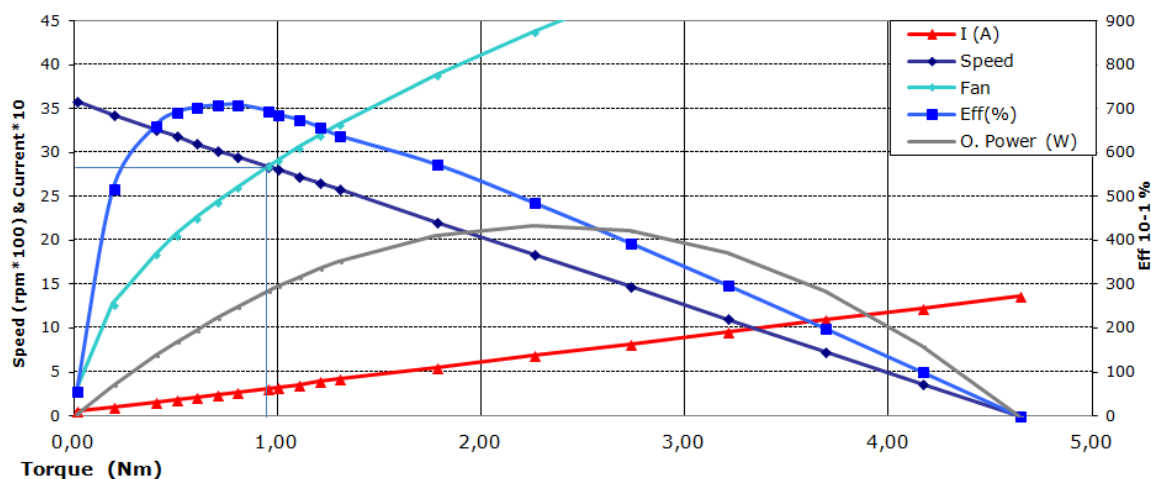
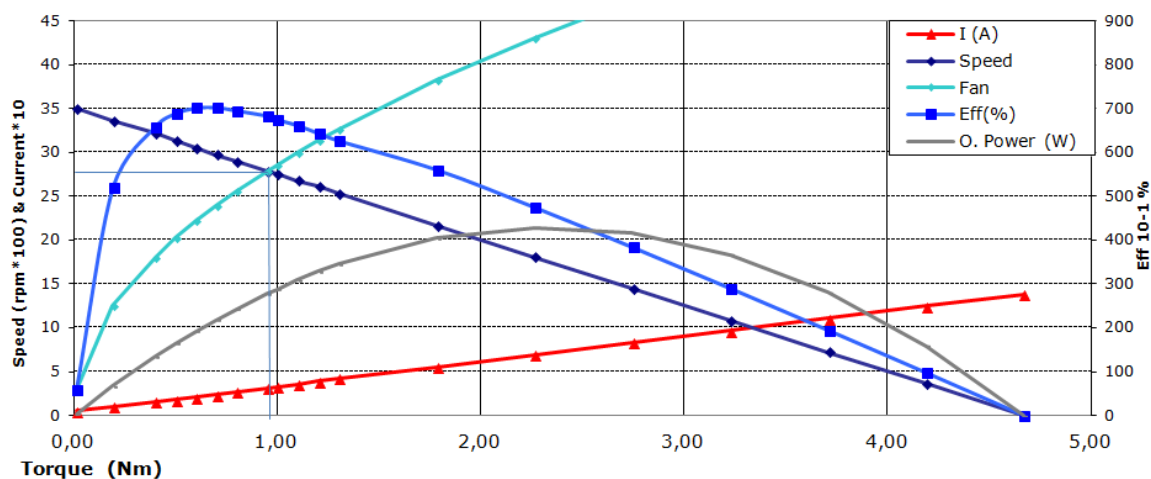
CORBES CARACTERÍSTIQUES DEL MOTORS ASSAJATS

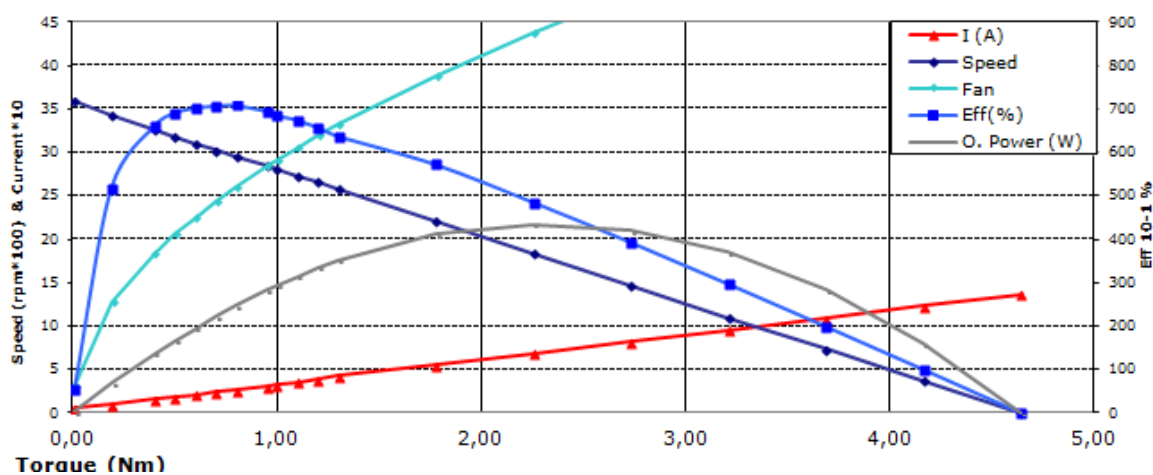
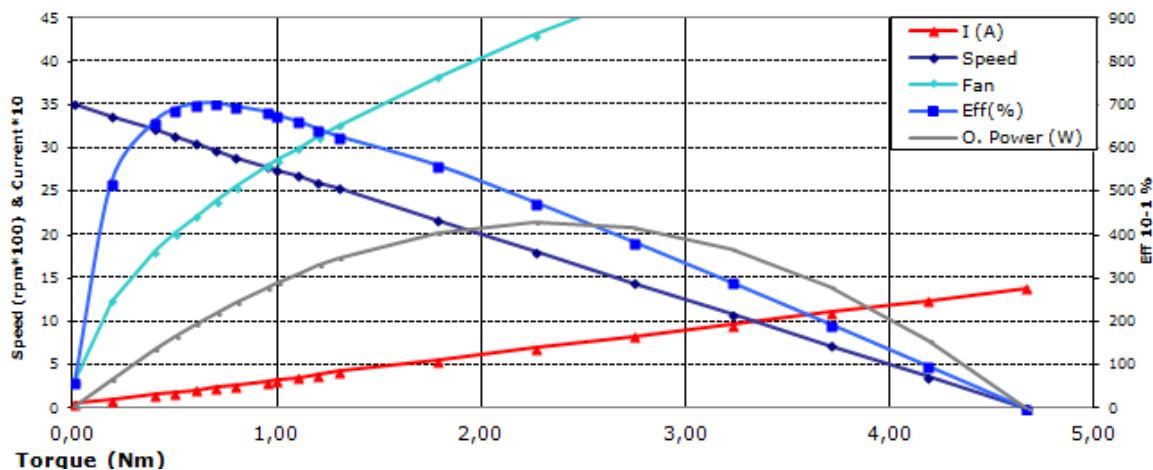
Reducció de coure en el col·lector





Mostres de la sèrie





Annex 7: Assaig de Sobretensió

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Sobretensió

Descripció del test

-

Verificar la que després de esdevenir una sobretensió en el motor aquest continua donant el seu punt de treball

Criteri d'acceptació

-

Comparativa amb el motor en sèrie

Especificació

-

Procediment intern

Resultats

-

MOSTRA	PARAMETRE	ABANS DEL TEST	DESPRES DEL TEST	DELTA (%)
1_reducció de coure	Velocitat (rpm)	2797	-	-
	Intensitat (A)	31,48	-	-
2_reducció de coure	Velocitat (rpm)	2768	2475	-10,59
	Intensitat (A)	30,5	35,7	17,05
3_serie	Velocitat (rpm)	2786	1864	-33,09
	Intensitat (A)	31,16	40,4	29,65
4_serie	Velocitat (rpm)	2813	-	-
	Intensitat (A)	32,02	-	-

Punt de funcionament al fre, abans i després de la sobretensió

Valors registrats durant l'assaig

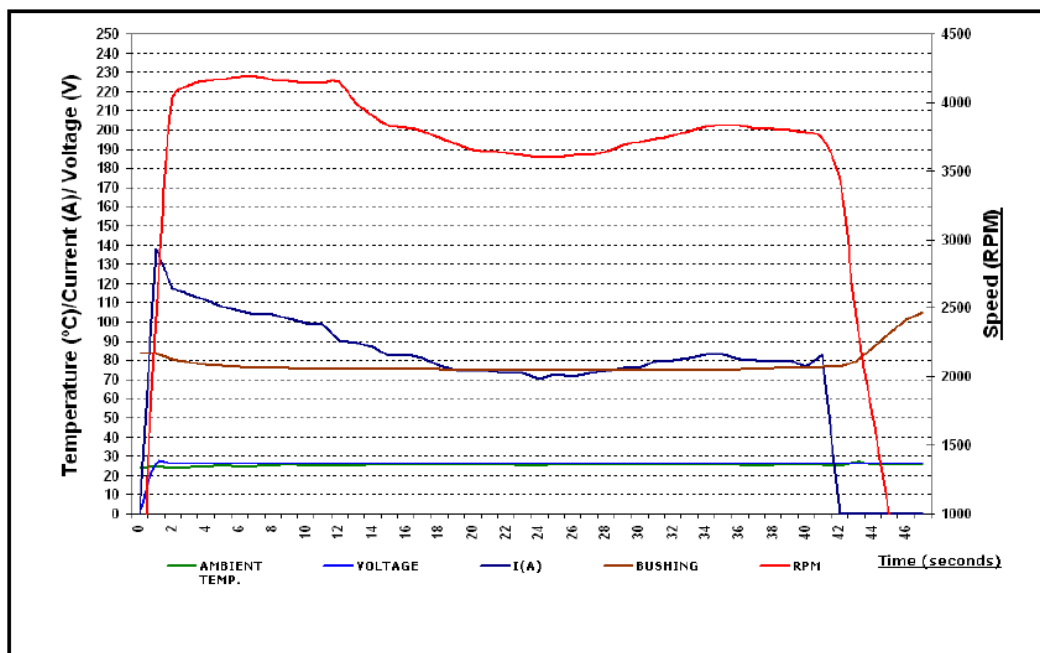


Figura 69. Valors registrats durant l'assaig de sobretensió part 1, mostra 1

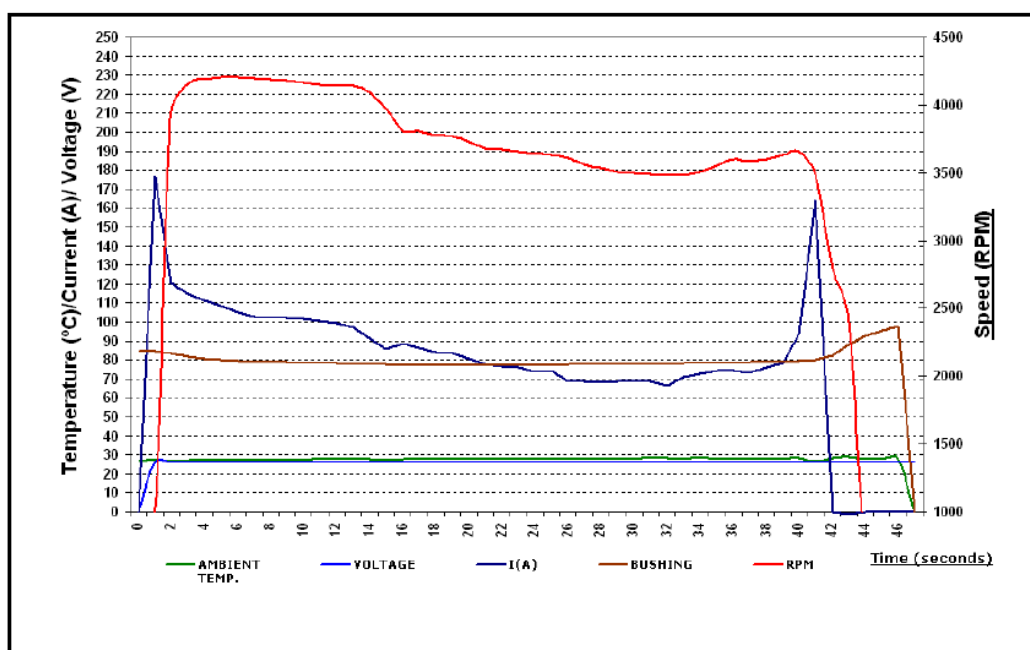


Figura 70. Valors registrats durant l'assaig de sobretensió part 1, mostra 3

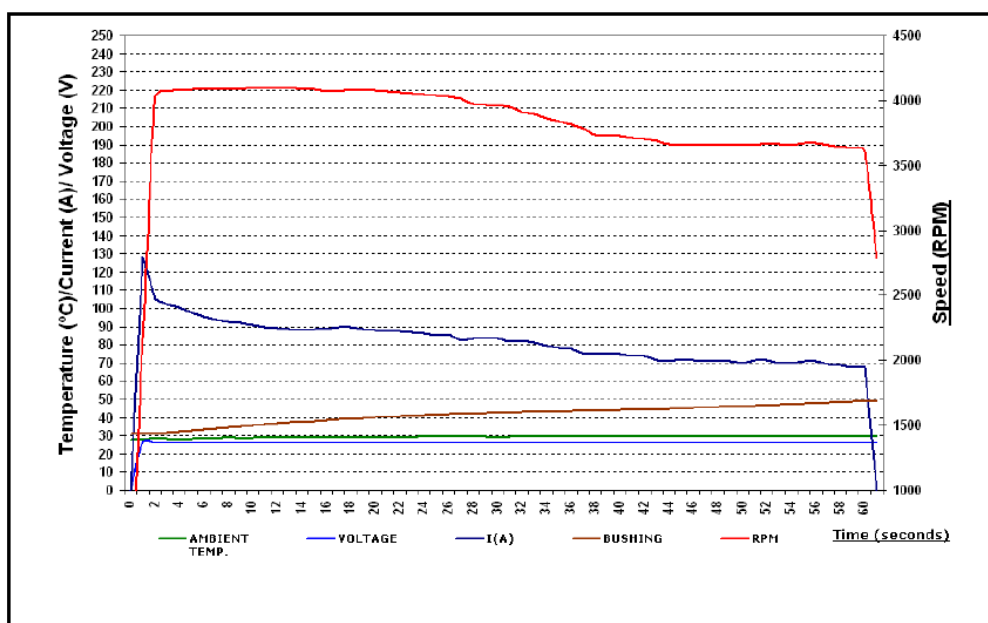


Figura 71. Valors registrats durant l'assaig de sobretensió part 2, mostra 2

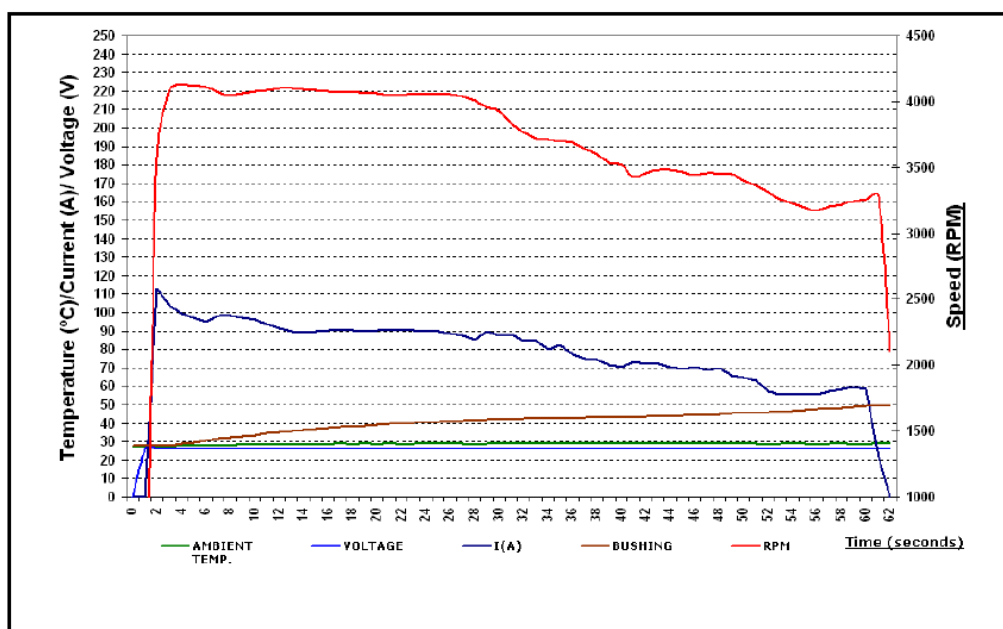


Figura 72. Valors registrats durant l'assaig de sobretensió part 2, mostra 4

Annex 8: Assaig de vida

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Assaig de vida

Descripció del test

-

Verifica el comportament del motor amb un assaig de vida de 1200 hores

Criteri d'acceptació

-

100% d'acord amb la normativa

Especificació

-

Procediment intern

Resultats

-

Drawing: 12,65 V - 0.85 Nm - 2450 Rpmmin - 32 Amax at 25° C

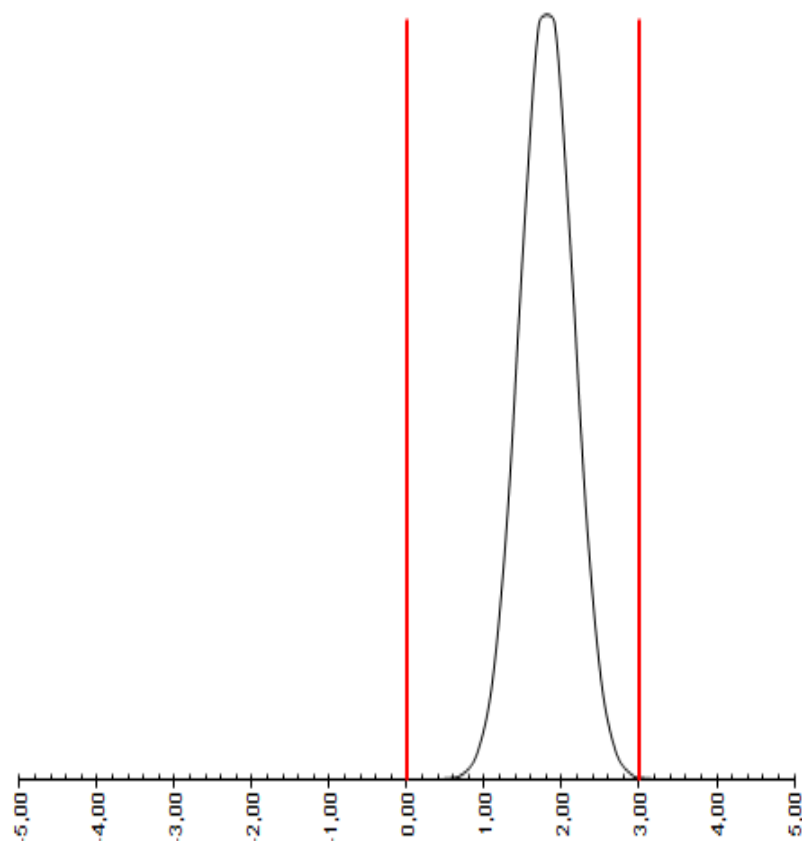
Sample no.	Parameter	Before test	After test	Delta (%)	Result
1	Speed (RPM)	2755	2815	2,2%	PASS
	Current (A)	27,5	27,2	-1,1%	
2	Speed (RPM)	2780	2810	1,1%	PASS
	Current (A)	28,1	27,8	-1,1%	
3	Speed (RPM)	2710	2740	1,1%	PASS
	Current (A)	27	26,3	-2,6%	
4	Speed (RPM)	2770	2780	0,4%	PASS
	Current (A)	27,8	26,6	-4,3%	

ANNEX 9: Estudi capacitat Salt entre delgues

Dades extretes del Test de Producció 1

LSE	3,000
LIE	0,000

1	1,710
2	1,480
3	2,090
4	2,200
5	1,980
6	2,020
7	1,720
8	2,080
9	1,630
10	2,060
11	2,430
12	2,000
13	2,160
14	1,260
15	1,810
16	2,320
17	2,130
18	1,490
19	1,420
20	1,610
21	1,400
22	1,660
23	2,160
24	1,480
25	1,960
26	1,260
27	2,080
28	1,350
29	1,260
30	1,340



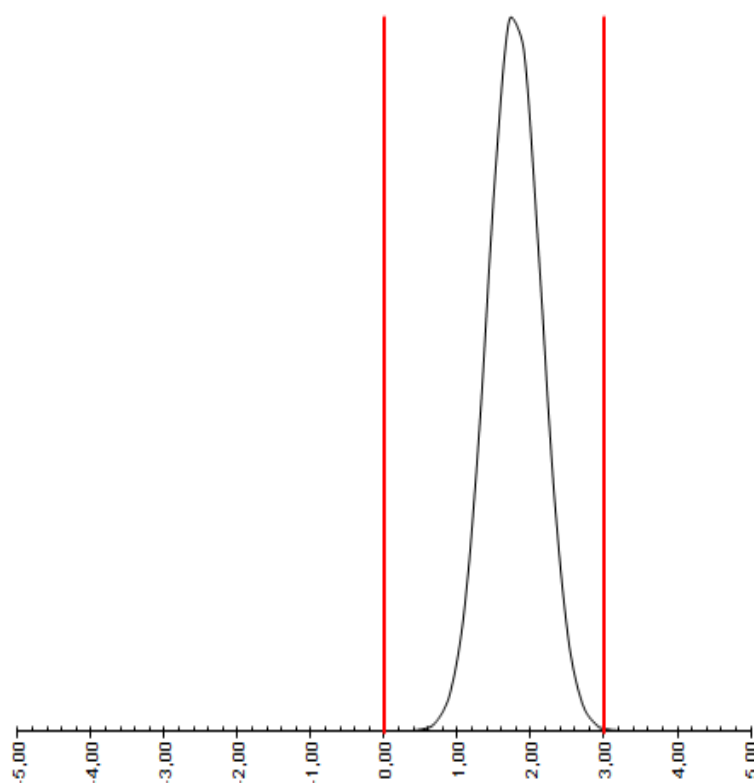
MITJANA	1,8003
σ	0,344018
MÀX.	2,4300
MÍN.	1,2600

Cp	1,453	Cpk	1,162
Cm	8,720	Cmk	0,872
Pp	1,428	Ppk	1,142

Dades extrems Test de Producció 2

LSE	3,000
LIE	0,000

1	2,190
2	1,320
3	1,670
4	1,810
5	1,930
6	1,720
7	1,720
8	2,080
9	1,630
10	2,060
11	2,430
12	2,000
13	2,120
14	1,260
15	1,870
16	2,320
17	2,130
18	2,070
19	1,140
20	1,720
21	1,830
22	1,390
23	1,660
24	1,890
25	1,370
26	1,760
27	1,270
28	2,330
29	1,210
30	1,230



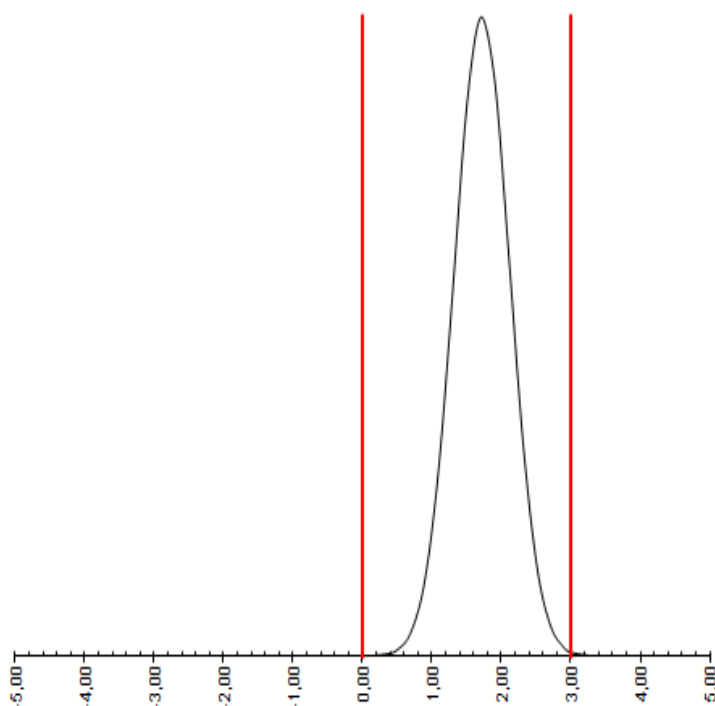
MITJANA	1,7710
σ	0,361795
MÀX.	2,4300
MÍN.	1,1400

Cp	1,382	Cpk	1,132
Cm	8,292	Cmk	0,849
Pp	1,359	Ppk	1,113

Des extrems del Test de Producció 3

LSE	3,000
LIE	0,000

1	1,550
2	1,330
3	1,610
4	1,400
5	1,980
6	2,100
7	2,120
8	2,670
9	1,880
10	1,660
11	2,070
12	1,960
13	2,160
14	1,230
15	1,330
16	1,400
17	1,450
18	1,030
19	2,060
20	1,640
21	1,450
22	1,030
23	2,160
24	2,320
25	1,960
26	1,260
27	2,080
28	1,450
29	1,560
30	1,570



MITJANA	1,7157
σ	0,398344
MÀX.	2,6700
MÍN.	1,0300

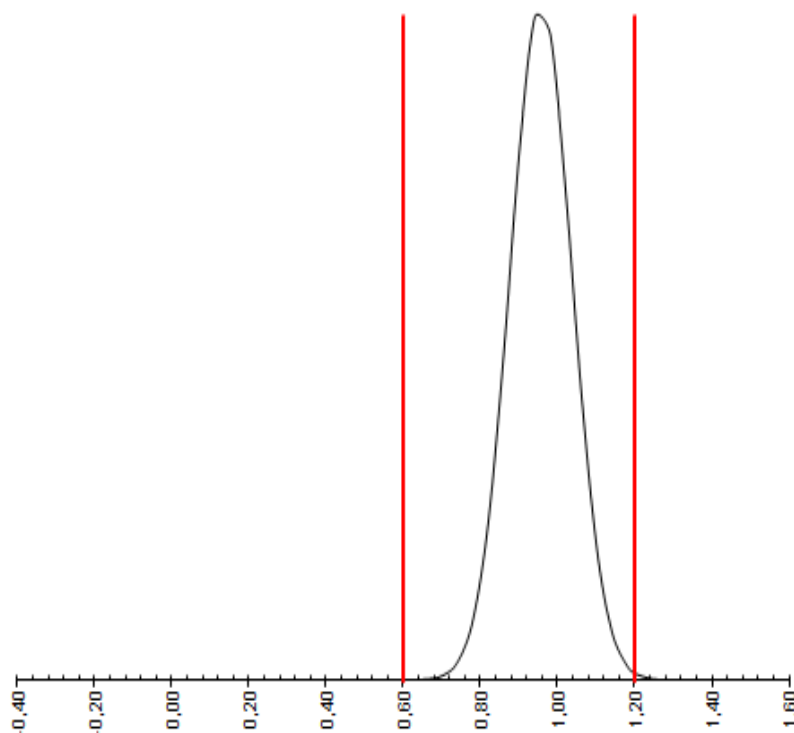
Cp	1,255	Cpk	1,075
Cm	7,531	Cmk	0,806
Pp	1,234	Ppk	1,057

ANNEX 10: Estudi capacitat Rugositat Col·lector

Dades extrems del Test de Producció 1

LSE	1,200
LIE	0,600

1	1,023
2	0,930
3	0,870
4	1,000
5	0,960
6	0,840
7	0,890
8	0,770
9	1,050
10	1,060
11	1,040
12	0,870
13	1,020
14	0,980
15	0,870
16	1,040
17	0,830
18	0,870
19	0,920
20	1,010
21	1,070
22	1,080
23	0,910
24	0,940
25	0,880
26	0,970
27	1,030
28	0,980
29	1,000
30	0,970



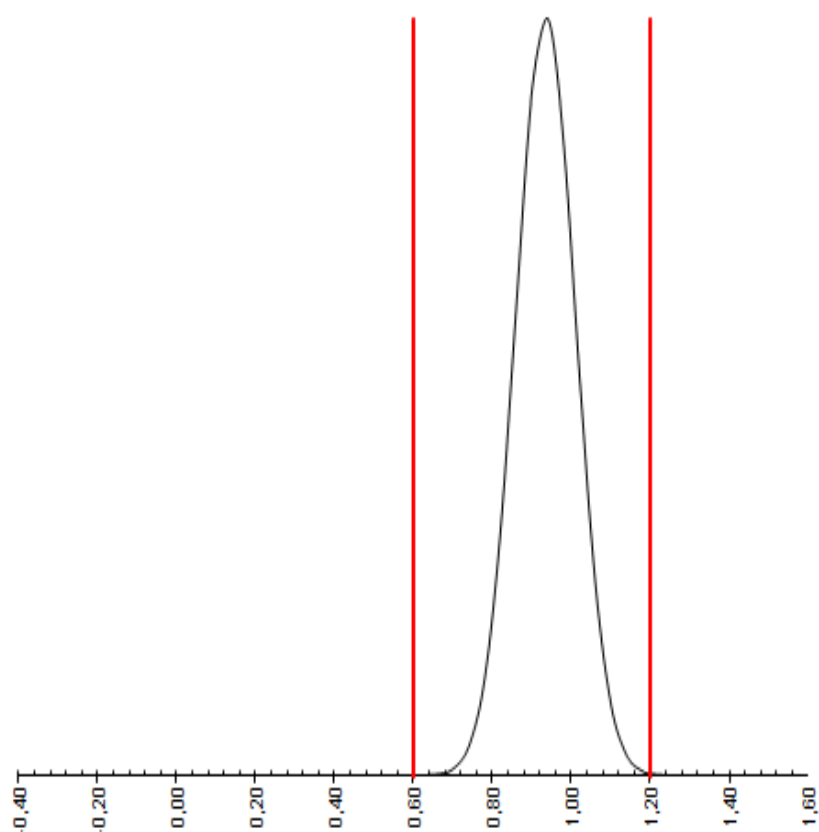
MITJANA	0,9558
σ	0,080111
MÀX.	1,0800
MÍN.	0,700

Cp	1,248	Cpk	1,016
Cm	7,490	Cmk	0,762
Pp	1,227	Ppk	0,999

Dades extretes del Test de Producció 2

LSE	1,200
LIE	0,600

1	0,980
2	0,960
3	0,870
4	0,890
5	0,910
6	1,010
7	0,920
8	0,860
9	0,880
10	1,090
11	1,020
12	0,960
13	0,920
14	0,810
15	0,790
16	1,020
17	0,990
18	0,960
19	0,940
20	0,870
21	0,850
22	1,030
23	1,040
24	0,910
25	0,910
26	0,830
27	0,970
28	0,920
29	1,060
30	0,840



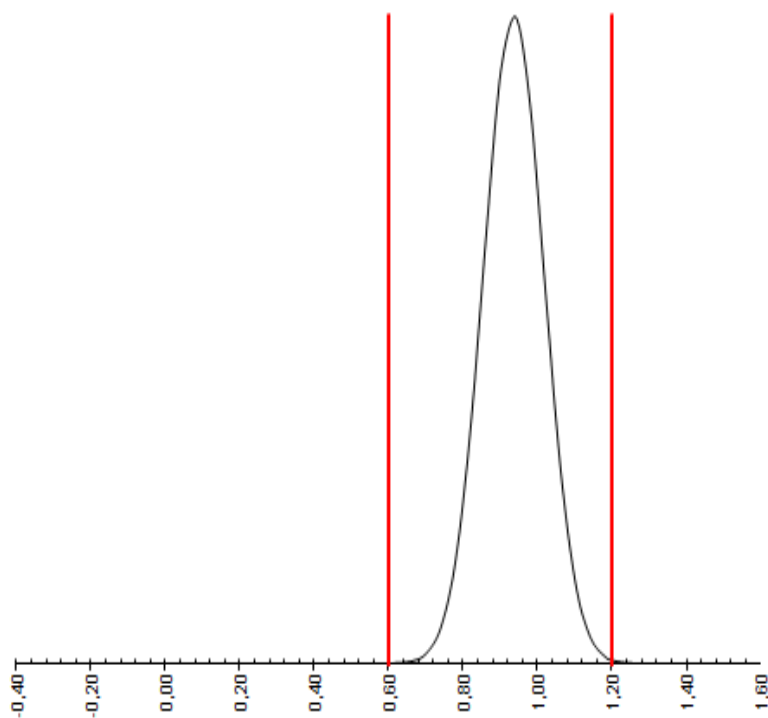
MITJANA	0,9337
σ	0,076047
MÀX.	1,0900
MÍN.	0,7900

Cp	1,315	Cpk	1,167
Cm	7,890	Cmk	0,876
Pp	1,293	Ppk	1,148

Dades extretes del Test de Producció 3

LSE	1,200
LIE	0,600

1	0,910
2	1,100
3	0,790
4	0,880
5	0,820
6	0,920
7	0,980
8	0,850
9	0,990
10	1,020
11	1,000
12	0,960
13	0,980
14	0,790
15	1,040
16	0,890
17	1,070
18	0,960
19	0,900
20	0,890
21	0,830
22	1,040
23	0,970
24	0,920
25	0,950
26	1,000
27	0,810
28	0,880
29	0,990
30	0,910



MITJANA	0,9347
σ	0,081270
MÀX.	1,1000
MÍN.	0,7900

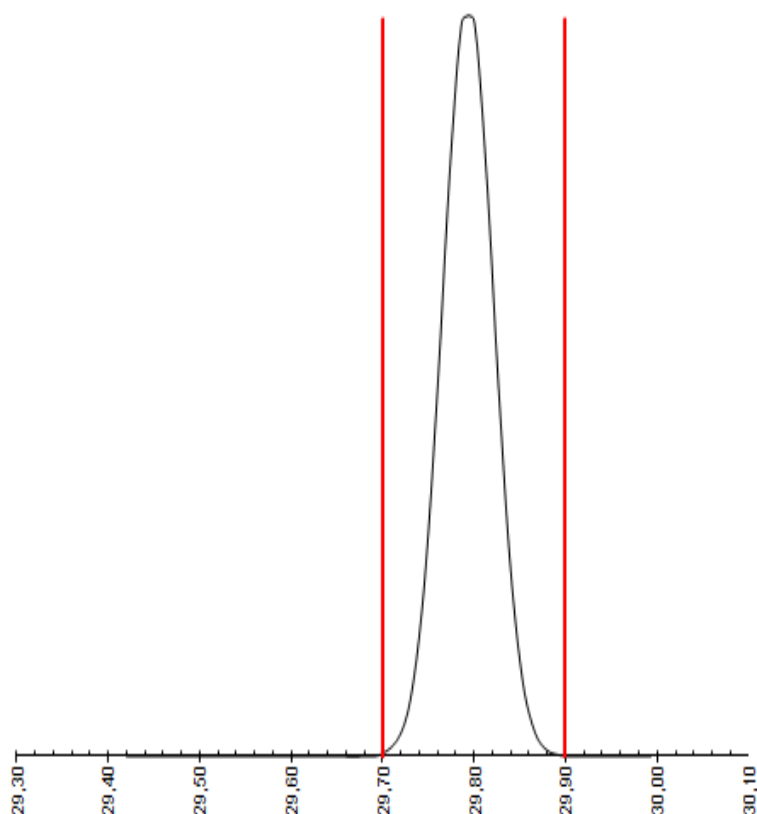
Cp	1,230	Cpk	1,088
Cm	7,383	Cmk	0,816
Pp	1,210	Ppk	1,07

ANNEX 11: Estudi capacitat diàmetre exterior

Dades extrems del Test de Producció 1

LSE	29,900
LIE	29,700

1	29,790
2	29,760
3	29,790
4	29,780
5	29,760
6	29,780
7	29,810
8	29,820
9	29,790
10	29,790
11	29,840
12	29,760
13	29,870
14	29,780
15	29,790
16	29,820
17	29,800
18	29,760
19	29,790
20	29,770
21	29,810
22	29,780
23	29,790
24	29,770
25	29,780
26	29,780
27	29,750
28	29,810
29	29,770
30	29,830



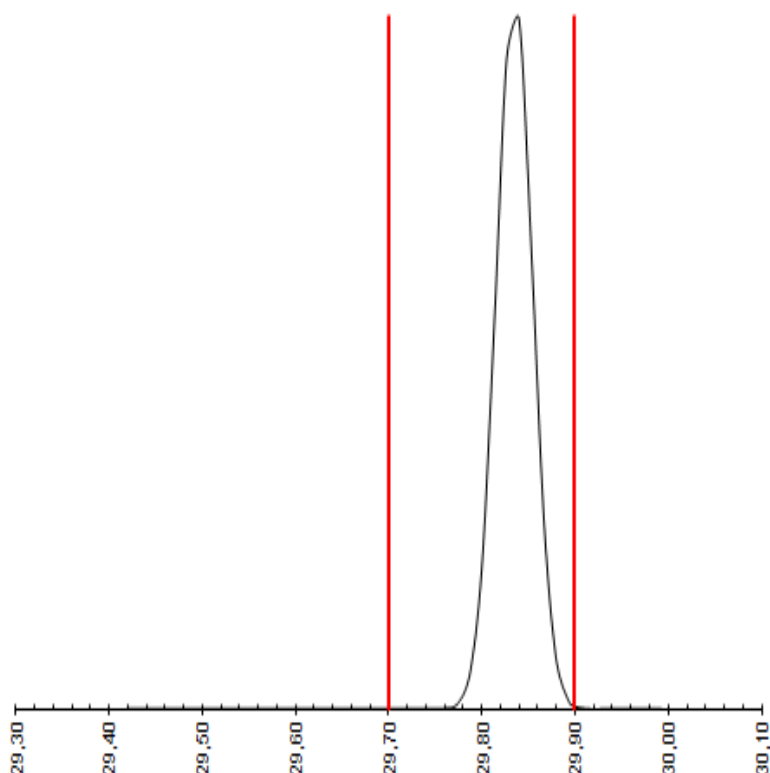
MITJANA	29,7907
σ	0,026196
MÀX.	29,8700
MÍN.	29,7500

Cp	1,272	Cpk	1,154
Cm	7,635	Cmk	0,865
Pp	1,251	Ppk	1,134

Dades extretes de Test de Producció 2

LSE	29,900
LIE	29,700

1	29,820
2	29,850
3	29,810
4	29,850
5	29,870
6	29,850
7	29,840
8	29,800
9	29,810
10	29,860
11	29,830
12	29,850
13	29,840
14	29,840
15	29,830
16	29,850
17	29,860
18	29,840
19	29,850
20	29,820
21	29,810
22	29,790
23	29,830
24	29,840
25	29,810
26	29,830
27	29,820
28	29,850
29	29,840
30	29,860



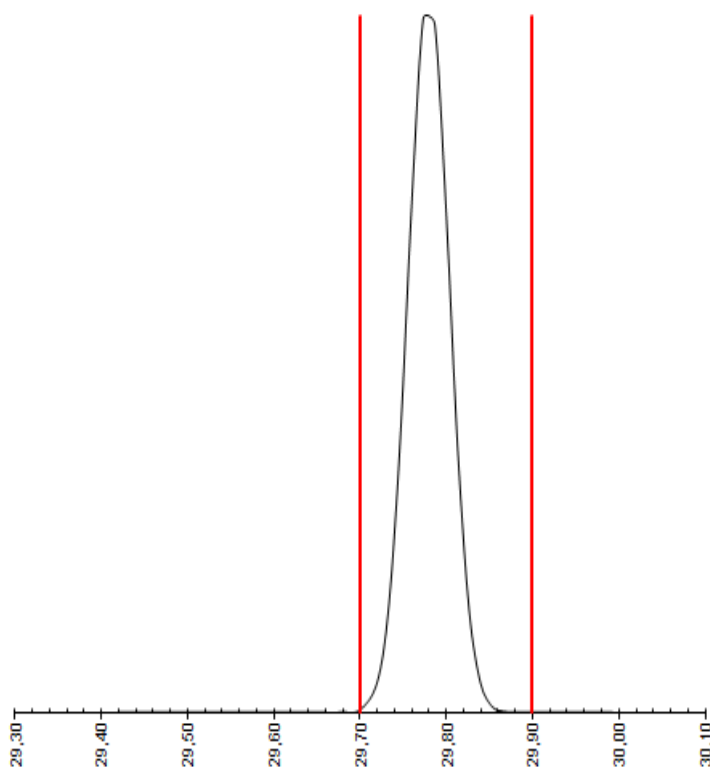
MITJANA	29,8350
σ	0,019451
MÀX.	29,8700
MÍN.	29,7900

Cp	1,714	Cpk	1,114
Cm	10,282	Cmk	0,835
Pp	1,685	Ppk	1,095

Dades extretes de Test de Producció 3

LSE	29,900
LIE	29,700

1	29,750
2	29,770
3	29,830
4	29,760
5	29,750
6	29,780
7	29,770
8	29,770
9	29,820
10	29,790
11	29,800
12	29,770
13	29,760
14	29,830
15	29,780
16	29,790
17	29,780
18	29,780
19	29,760
20	29,750
21	29,790
22	29,740
23	29,810
24	29,800
25	29,810
26	29,790
27	29,750
28	29,770
29	29,780
30	29,760



MITJANA	29,7797
σ	0,023732
MÀX.	29,8300
MÍN.	29,7400

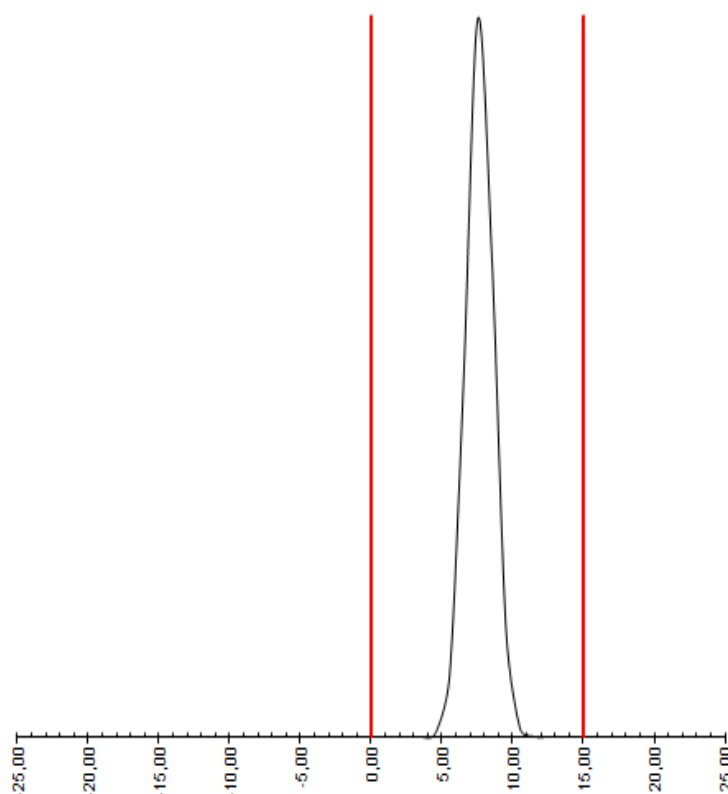
Cp	1,405	Cpk	1,119
Cm	8,427	Cmk	0,839
Pp	1,381	Ppk	1,100

Annex 12: Estudi de capacitat de la Resistència de la Soldadura

Dades extretes de Test de Producció 1

LSE	15mΩ
LIE	0

1	7,300
2	7,800
3	8,100
4	8,800
5	6,400
6	5,900
7	7,800
8	7,400
9	7,200
10	8,900
11	8,500
12	6,800
13	6,200
14	9,000
15	6,300
16	6,800
17	9,800
18	7,700
19	6,900
20	8,200
21	8,500
22	9,100
23	7,200
24	7,600
25	6,800
26	6,600
27	8,100
28	8,400
29	7,500
30	7,400



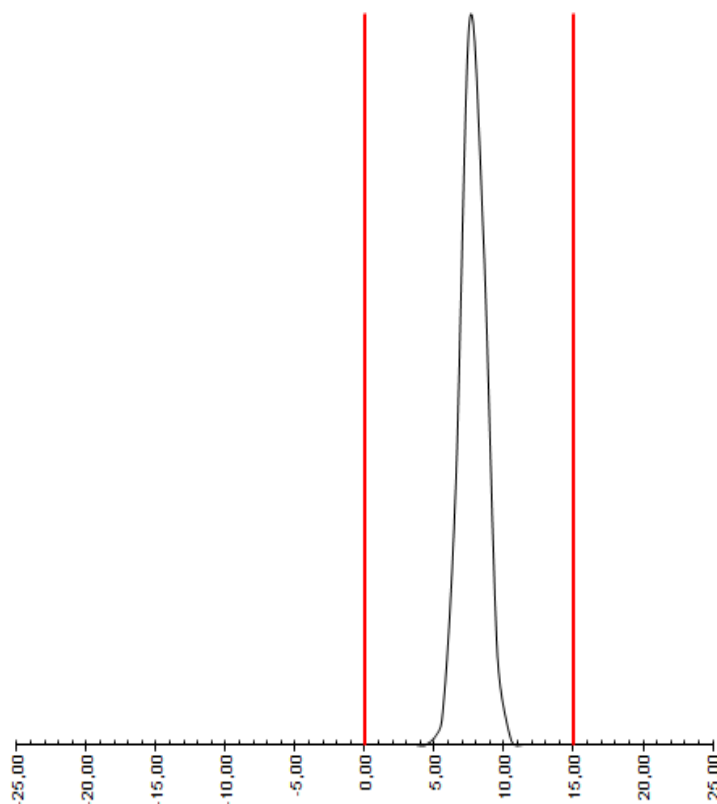
MITJANA	7,6333
σ	0,953007
MÀX.	9,8000
MÍN.	5,9000

Cp	2,623	Cpk	2,577
Cm	15,740	Cmk	1,932
Pp	2,759	Ppk	2,533

Dades extretes de Test de Producció 2

LSE	15mΩ
LIE	0

1	7,600
2	8,900
3	8,600
4	7,500
5	7,900
6	8,800
7	8,800
8	6,300
9	6,900
10	8,900
11	8,000
12	6,500
13	7,400
14	7,400
15	7,600
16	8,300
17	6,100
18	8,300
19	7,600
20	8,900
21	6,900
22	8,500
23	7,900
24	6,200
25	8,300
26	8,700
27	8,200
28	7,300
29	7,200
30	6,800



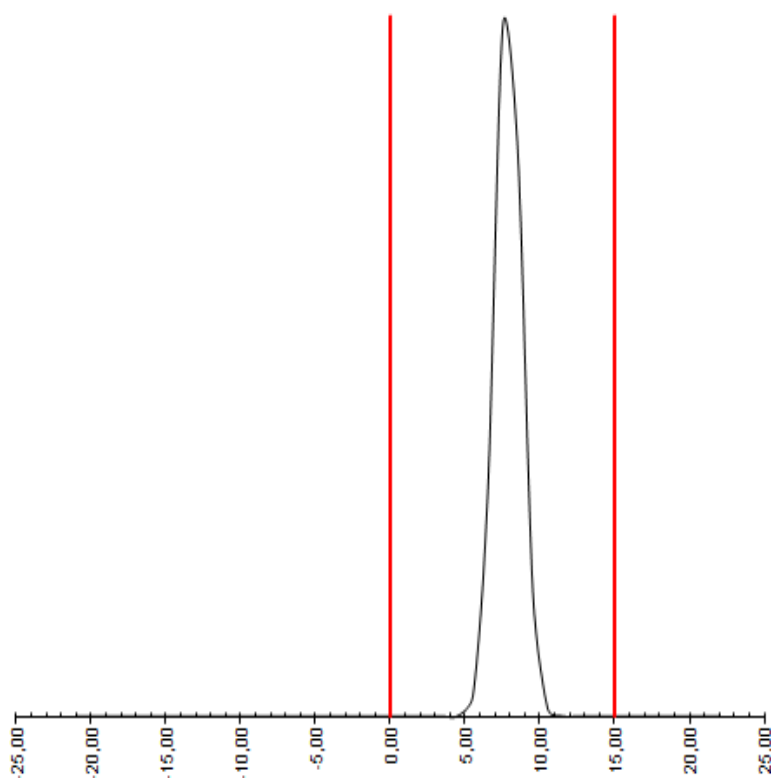
MITJANA	7,7433
σ	0,848404
MÀX.	8,9000
MÍN.	6,1000

Cp	2,947	Cpk	2,851
Cm	17,680	Cmk	2,138
Pp	2,897	Ppk	2,803

Dades extrems de Test de Producció 3

LSE	15mΩ
LIE	0

1	7,800
2	6,900
3	7,700
4	8,300
5	6,800
6	6,300
7	8,800
8	7,600
9	7,300
10	8,200
11	8,100
12	8,200
13	7,400
14	8,900
15	8,900
16	8,600
17	8,100
18	7,500
19	9,100
20	7,300
21	7,900
22	9,600
23	9,200
24	6,100
25	8,400
26	7,200
27	6,200
28	7,700
29	7,300
30	7,900



MITJANA	7,8433
σ	0,874713
MÀX.	9,6000
MÍN.	6,1000

Cp	2,858	Cpk	2,727
Cm	17,148	Cmk	2,045
Pp	2,810	Ppk	2,681

Annex 13: Altres assajos no inclosos en el DVP&R

INFORME																																		
Projecte: reducció de coure en el col·lector	Nom del test: Deformació dels ganxos																																	
Descripció del test	-																																	
Segons Normativa interna: la deformació axial del ganxo ha de ser menor a 0,1mm aplicant una força de 10daN MIN.																																		
Criteri d'acceptació	-																																	
100% d'acord amb la normativa																																		
Especificació	-																																	
Proveïdor																																		
Resultats	-																																	
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">FORÇA</th> <th style="text-align: center;">DEFORMACIÓ</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">F=100 N</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">0,01</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">0,02</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">0,01</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">0,02</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100,3</td><td style="text-align: center;">0,01</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100,3</td><td style="text-align: center;">0,02</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">0,01</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">0,01</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">0,01</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">100</td><td style="text-align: center;">0,02</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">mitja</td> <td style="text-align: center;">100,06</td> <td style="text-align: center;">0,014</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">minim</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: center;">0,01</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">maxim</td> <td style="text-align: center;">100,3</td> <td style="text-align: center;">0,02</td> </tr> </tbody> </table>		FORÇA	DEFORMACIÓ	F=100 N		100	0,01	100	0,02	100	0,01	100	0,02	100,3	0,01	100,3	0,02	100	0,01	100	0,01	100	0,01	100	0,02	mitja	100,06	0,014	minim	100	0,01	maxim	100,3	0,02
FORÇA	DEFORMACIÓ																																	
F=100 N																																		
100	0,01																																	
100	0,02																																	
100	0,01																																	
100	0,02																																	
100,3	0,01																																	
100,3	0,02																																	
100	0,01																																	
100	0,01																																	
100	0,01																																	
100	0,02																																	
mitja	100,06	0,014																																
minim	100	0,01																																
maxim	100,3	0,02																																

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Aixafament dels ganxos

Descripció del test

-

Segons Normativa interna: la força necessària per aixafar el ganxo ha d'estar entre 35 i 85 daN

Criteri d'acceptació

-

100% d'acord amb la normativa

Especificació

-

Proveïdor

Resultats

-

Peça	Força
1	41,02
2	37,93
3	35,26
4	37,81
5	35,87
6	35,77
7	34,74
8	42,27
9	35,38
10	41,89

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Esforç d'inserció del eix

Descripció del test

-

Segons Normativa interna: la força necessari per inserir el eix en el col·lector ha d'estar entre 70 a 250 daN

Criteri d'acceptació

-

100% d'acord amb la normativa

Especificació

-

Proveïdor

Resultats

-

Peça	Força
1	121,1
2	123,6
3	126,1
4	134,6
5	139,5

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Extracció de les delgues

Descripció del test

-
Segons Normativa interna: la força necessària per extreure les delgues de la baquelita.
La força ha de ser min 20daN

Criteri d'acceptació

-
100% conforme amb la normativa

Especificació

-
Proveïdor

Resultats

new sample		F ≥ 20 kgf
DATA	Nº MOTOR	MAX. LOAD (kgf)
16/11/2012	1	44,23
16/11/2012	2	41,61
16/11/2012	3	44,06
16/11/2012	4	31,48
16/11/2012	5	47,24

AVERAGE	41,72
MAX.	47,24
MIN.	31,48

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Resistència axial d'extracció del eix

Descripció del test

-

Segons Normativa interna: Esforç necessari per extreure l'eix del col·lector. $F > 42$ daN mín.

Criteri d'acceptació

-

100% conforme amb la normativa

Especificació

-

Proveïdor

Resultats

-

Peça	Força
1	144,9
2	105,8
3	120,4
4	108,8
5	125

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Estabilitat dimensional

Descripció del test

-

Segons Normativa interna: el col·lector ha de suportar una temperatura de 170 °C durant 2 hores sense patir cap deformació i després de tornar a la temperatura ambiental ha de tenir un salt entre delgues de 3µm

Criteri d'acceptació

-

100% conforme amb la normativa

Especificació

-

Proveïdor

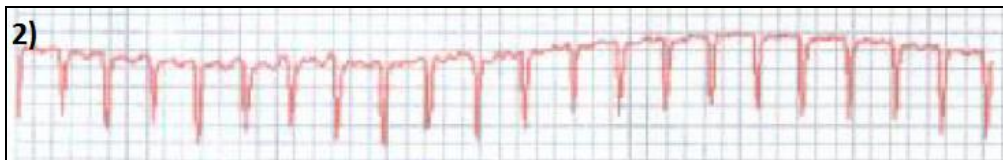
Resultats

-

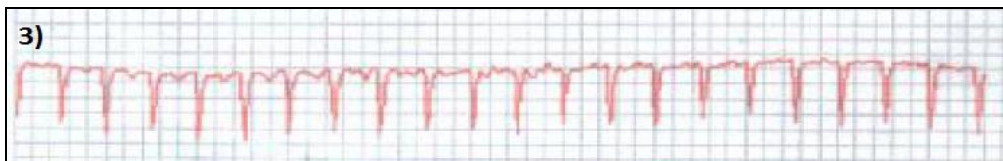
1)



2)



3)



Peça	Salt delgues (µm)
1	1,9
2	1,57
3	2,35

INFORME

Projecte:
reducció de coure en el col·lector

Nom del test:
Assaig de centrifugat

Descripció del test

-
Segons Normativa interna: Després de escalfar el col·lector 2 hores a 120°C, el col·lector aguantarà 1000 +/- 200 rpm
1 mini ha de mantenir un salt entre delgues de 3 µm

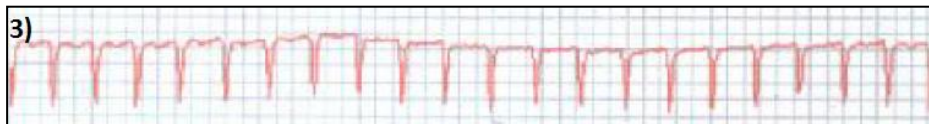
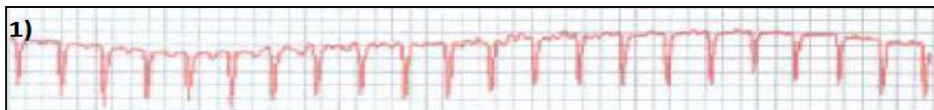
Criteri d'acceptació

-
100% conforme amb la normativa

Especificació

Proveïdor

Resultats



Peça	Salt delgues (µm)
1	2,87
2	1,14
3	3.67